

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

**Technologický postup generální opravy horkovzdušného  
šoupátka větrovodu**

**The Technological Procedure of the  
General Repair for Hot – Air Slide Valve of a Blast Pipe**

Student:

Bc. Daniel Novák

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. František Helebrant, CSc.

Ostrava 2018

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Daniel Novák**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma: **Technologický postup generální opravy horkovzdušného šoupátka  
větrovodu**  
**The Technological Procedure for the General Repair for a Hot-Air Slide  
Valve of a Blast Pipe**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Zpracujte návrh řešení technologického postupu, resp. projektu, který je nutný k provedení generální opravy daného zařízení. V rámci zadání zpracujte.

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Obecný ideový a technický návrh řešení technologického postupu.
3. Daný návrh aplikujte na daný výrobní provoz a případ.
4. Zhodnoťte přínos daného řešení.

Další specifikace bude provedena v průběhu zpracovávání diplomové práce.  
Rozsah práce min. 45 stran textu.

### Seznam doporučené odborné literatury:

PAČAIOVÁ, H., SINAY, J., GLATZ, J.: *Bezpečnosť a riziká technických systémov* TU v Košiciach 2009, I.vydání, 246 s., ISBN 978-80-553-0180-8

HRABEC, L. – HELEBRANT, F. – MAZALOVÁ, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost – III. Ustavování strojů*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2007, 1.vydání, 92 s., ISBN 978 – 80 – 248 – 1449 – 0

HELEBRANT, F. *Technická diagnostika a spolehlivost – IV. Provoz a údržba strojů*. VŠB – TU Ostrava 2008, 1. vydání, 130s., ISBN 978-80-248-1690-6

ČSN EN 13306:2002 *Údržba – Terminologie údržby*

ČSN EN 15628:2016 *Údržba – Kvalifikace pracovníků údržby*

ČSN EN 13460:2009 *Údržba – Dokumentace údržby*

*Interní podkladové materiály*

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. František Helebrant, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



---

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně všech příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.“

V Ostravě dne 6. 5. 2018




.....  
Bc. Daniel Novák

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, hlavně § 35 – použití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo,
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo neziskově ke své vnitřní potřebě diplomovou práci využít podle § 35 odst. 3,
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložený u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněné v informačním systému VŠB – TUO.,
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, bude uzavřena licenční smlouva s oprávněním použít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že použít svoje dílo, diplomovou práci, anebo poskytnout licenci k jejímu využití můžu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím s jejím zveřejněním podle č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách) ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 5. 5. 2018

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora:

Bc. Daniel Novák

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Dr. Martínka 1149/33, Ostrava – Jih

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

NOVÁK, D. *Technologický postup generální opravy horkovzdušného šoupátka okružního větrovodu: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Strojní fakulta, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 68s. Vedoucí práce: Helebrant, F

Tato diplomová práce se věnuje problematice oprav, resp. generální opravě průmyslové armatury - Horkovzdušnému šoupátku, umístěnému na výstupu z Ohřívače větru, který slouží jako provoz přípravy horkého větru pro vysokou pec. Úvodní část se věnuje opravám v návaznosti na systém údržby provozu, přičemž definuje pojmy a předpoklady, za kterých jsou aplikovány. Poté shrnuje metodiku v dílčím závěru. Nasledně je vysvětlen princip, širší souvislosti a technický popis daného zařízení. Navazuje část, kde jsou shrnuty základní požadavky na dokumentaci, materiál a lidské zdroje, nezbytné k plynulému provedení generální opravy. Ve třetí části jsou obecně definovány body, které by měly být nezbytnou součástí každého takového technologického postupu. Poslední část je pak aplikace výše zmíněného na zařízení. Cílem bylo jak vytvořit vhodný návod k budoucí tvorbě podobných dokumentů, tak i ověřit jednotlivé postupy a metodiku.

## **DIPLOMA THESIS ANNOTATION**

NOVÁK, D. *The Technological Procedure of the General Repair for Hot – Air Slide Valve of a Blast Pipe: Diploma thesis*. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machines production and design, 2016, 59s. Head of bachelor thesis: Helebrant, F.

The diploma thesis is devoted to the problematic of repairs, respectively general repair service of the industrial valve – Hot blast valve, situated at the outlet pipe of Hot Stove, which works as hot blast preparation plant for Pig Iron Blast Furnace. Introduction of the thesis is devoted to the repairs in following to the plant maintenance systems, whereas defines assumptions and concept for its application. Applied methodology was summarized in the partial conclusion afterwards. Following part explains principle, context and specification of Hot Blast Valve. Next part relates with basic requirements of the documentation, material a human resources which are necessary for general repair fluent workflow. In the third part, general points, which have to be essential for technological procedure of analogical equipment, were specified. Last part of the thesis is focused to the application of procedure directly to the Hot Blast Valve. The aim of the thesis is to created appropriate manual as a representative for future similar documents, and also validates individual procedures and methodology.

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>10</b>
<b>1 Současný stav</b>	<b>11</b>
1.1 Generální oprava a její návaznost na systém údržby	11
1.1.1 Údržba strojního zařízení	11
1.1.2 Oprava strojního zařízení	12
1.1.3 Metody stanovení intervalu opravy	15
1.1.4 Dílčí závěr	20
1.2 Umístění šoupátka v rámci provozu vysoké pece	21
1.3 Popis funkce a specifikace šoupátka	23
<b>2 Premisy pro technický návrh řešení</b>	<b>25</b>
2.1 Metody stanovení intervalu opravy Horkovzdušného šoupátka	25
2.2 Dokumentace pro provedení generální opravy	26
2.3 Plánování generální opravy	28
<b>3 Obecný ideový a technický návrh řešení</b>	<b>31</b>
3.1 Čištění	33
3.2 Demontáž	33
3.3 Stanovení rozsahu opravy	35
3.4 Vlastní oprava	36
3.5 Specifikace povrchových úprav a nátěrů	37
3.6 Montáž	39
3.7 Provozní média a maziva	40
3.8 Zkoušení a ověřování funkce	41
3.9 Konzervace, uskladnění	42
<b>4 Aplikace technologického postupu na řešený objekt</b>	<b>44</b>
4.1 Demontáž a hrubé čištění	44
4.2 Technologický postup opravy jednotlivých částí	45
4.2.1 Těleso s vyzdívkou	45
4.2.2 Horní kryt s vyzdívkou	50
4.2.3 Disk s vyzdívkou	52
4.2.4 Rám pohonu s příslušenstvím	54
4.2.5 Těsnící pouzdra	55
4.2.6 Mazání, chlazení, koncové spínače	56

4.3	Nátěrová specifikace .....	57
4.4	Montáž .....	57
4.5	Média a maziva .....	58
4.6	Funkční zkoušky .....	58
4.7	Balení a skladování .....	60
<b>Závěr .....</b>		<b>61</b>
<b>Seznam literatury .....</b>		<b>62</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>		<b>65</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>		<b>67</b>



## Seznam zkratk a použitých symbolů

bar g	tlak v bar vyjádřený na měřidle (mimo SI)
bar	jednotka tlaku (mimo soustavu SI)
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
ČSN	Česká státní norma
DIN	Německá národní norma
DN	Jmenovitý průměr
GO	generální oprava
HBV	Horkovzdušné šoupátko
ISO	Mezinárodní norma
ks	kus / kusů
MKP	Metoda konečných prvků
MPI	Magnetická zkouška
ND	náhradní díl
OEM / non OEM	originální díl / neoriginální díl
OOPP	osobní ochranné pracovní prostředky
PKO	protikorozi ochrana
PN	Jmenovitý tlak
RMS	Efektivní hodnota
RT	Radiografická zkouška
TBD	Technická bezdemontážní diagnostika
TND	Technická nedestruktivní diagnostika
UT	Ultrazvuková zkouška
VE	vizuální prohlídka
VP	vysoká pec / vysokopecní
WBS	Hierarchická struktura prací

## Úvod

Můžeme říct, že opravy jako takové jsou nedílnou součástí údržby průmyslových produktů. Tím pádem jde zejména o zajištění spolehlivosti, provozuschopnosti a dlouhé bezporuchové životnosti objektů, které utvářejí hodnoty či slouží k radosti a naplnění potřeb lidí. Odpovídající údržba je, a do budoucna by měla být, nedílnou součástí životního cyklu každého takového objektu. Stejně jako u lidí, i věci potřebují čas od času svého „doktora“.

S opravami různého druhu se setkáváme na každém kroku. Ať už se jedná o věci denní potřeby, nebo třeba velké investiční celky. S rostoucím počtem užívaných předmětů a jejich stoupající složitosti je poptávka po opravách a renovacích čím dál vyšší. Samozřejmě ne u všech se zásah vyplatí. Na trhu lze nalézt takové, u kterých je výhodnější provoz „do poruchy“, ovšem zde platí staré známé pravidlo, že: „Nejsme tak bohatí, abychom kupovali levné věci“.

Předmětem mé diplomové práce je objekt, který si opravy, včetně té největší, jistě zaslouží. Budu se v něm snažit o nastínění optimálního postupu generální opravy horkovzdušného šoupátka, klíčového ventilu v soustavě ohřívачů horkého větru, které jsou součástí přípravných procesů pro vysokou pec. Investice do vysokopecních provozů jsou v posledních letech v útlumu. Jde zejména o nízké ceny surového železa, a potažmo i oceli na světových trzích, která je způsobena dumpingem a nízkými náklady na výrobu v Asii. Tím je dán i fakt, že peníze určené na údržbu a obnovu jednotlivých částí provozu jsou rok od roku nižší. Z toho vyplývá, že čím dál větší poměr prostředků na údržbu směřuje do generálních oprav a to na úkor investic do nových celků.

Volba právě na tento ventil padla proto, že se jedná o jednu z nejvíce namáhaných částí ohřívачe. Teploty přes 1300°C při jmenovitém průměru potrubí okolo 1400 mm jej řadí ve složitosti konstrukce na vrchol v tomto odvětví strojírenství.

# 1 Současný stav

V této kapitole bych se rád zaměřil na teorii a rozdělení oprav v rámci provádění údržby v technickém životě strojů a zařízení a poté přiblížil zařízení, jehož se aplikace v rámci praktické části bude týkat.

## 1.1 Generální oprava a její návaznost na systém údržby

Aby bylo možné definovat pojem generální oprava, resp. její technologický postup, které se chci ve své diplomové práci věnovat, je ji třeba nejprve dát do širších souvislostí a popsat vztah k údržbě strojních zařízení. Norma ČSN EN 13306:2011 říká, že: „*Generální oprava je obsáhlý soubor zásahů preventivní údržby, kterou provádíme za účelem udržení daného objektu v provozuschopném stavu.*“ [1]

V dnešní době samozřejmě rozhoduje především ekonomičnost, kdy se za co nejnižších nákladů snažíme dosáhnout co nejvyšší produktivity.

### 1.1.1 Údržba strojního zařízení

Údržbu můžeme popsat jako sled technických, profesních a řídicích opatření, která jsou během technického života stroje nebo zařízení zaměřena na udržení jeho provozuschopnosti a bezporuchovosti. Údržbou se snažíme předcházet poruchám a v případě, že nastanou, neodkladně je řešit a zajistit tím kontinuální průběh výroby koncových produktů. [1]

### Rozdělení údržby



Obr. 1.1 Rozdělení údržby dle ČSN EN 13306:2011[1]

Na obrázku výše je uvedeno základní rozdělení údržby dle ČSN EN 13306:2011, které se dále dělí do několika podskupin. Ty jsou uvedeny dále v textu.

## **Preventivní údržba**

Je prováděna v pevných intervalech dle plánu údržby stanovených v příručce. Její rozsah a jednotlivé zásahy stanovuje výrobce zařízení, v některých případech pak specializované firmy nebo úseky podnikové údržby ze svých zkušeností. Při opravách a inspekcích je třeba dodržovat předepsané postupy a náhradní díly v odpovídající kvalitě. Moderní podskupinou preventivní údržby je **údržba prediktivní**, resp. **podle stavu**, která sleduje a vyhodnocuje buďto přímo zbytkovou životnost diagnostikou, nebo se matematickými metodami snaží určit pravděpodobnou dobu do poruchy.

## **Údržba po poruše**

Provádí se při neprovozoschopném stavu stroje nebo zařízení. Údržbou se snažíme uvést stroj nebo zařízení zpět do funkčního stavu.

### **1.1.2 Oprava strojního zařízení**

Pojem oprava chápeme jako odstranění účinků opotřebení a fyzické degradace jednotlivých součástí nebo skupin zařízení a opětovné uvedení do výchozího stavu, čímž je myšleno uvedení do stavu provozuschopného a prodloužení užitečné doby života. Provedením opravy tak de facto podnikáme kroky vedoucí k obnovení původních parametrů a zajištění provozní spolehlivosti.[2]

Aby bylo možné přistoupit k opravě, musí stroj, resp. zařízení, splňovat podmínku opravitelnosti. To znamená, že zde musí být možnost jej opět uvést do stavu, kdy bude plnit požadovanou činnost.[1]

## **Způsoby oprav v návaznosti na způsoby údržby**

S ohledem na způsob údržby popsané v kapitole 1.1.1 rozlišujeme stejně tak i způsoby oprav strojů a zařízení[5]. Tak jako údržba, prošly si i způsoby oprav historickým vývojem, kdy je zohledněna zejména jejich délka (v návaznosti na to odstávka produkce) a ekonomičnost.

Jsou to:

- ✓ oprava po poruše;
  - nejstarší způsob, kdy dochází k opravě až po selhání funkčního dílu, stroje,
  - v případě nečekaného výskytu poruchy, z důvodu vlivů v provozu, kdy bereme v potaz, že pravděpodobnost předpokládané spolehlivosti není 100%,
  - v případě „dožití“ stroje, kdy uvažujeme brzký konec jeho technického života

a jeho celková oprava by byla již nerentabilní – opravujeme poruchy lehčího charakteru,

- opravu můžeme řešit okamžitě (v případě vážné poruchy), nebo ji lze odložit do nejbližší odstávky (u poruch neovlivňujících základní funkce zařízení),

✓ preventivní oprava;

- jedná se dnes již o klasický způsob opravy, kdy dochází k výměně dílů před jejich předpokládaným koncem životnosti (statisticky určeným nebo odhadovaným z provozních hodin),
- je prováděna periodicky a nezávisle na faktickém stavu dílu buď jeho renovací, nebo výměnou za nový. Z toho vychází jeho nízká efektivita a vysoké náklady.,
- možnost plánování odstávek a přerušení výroby, rozsahu a náročnosti oprav, potřebu pracovníků, jejich technického vybavení, nákup ND v předstihu,

✓ oprava po zjištění skutečného stavu dílu „po prohlídce“

- realizujeme na základě parametrů zjištěných metodami technické diagnostiky TBD a TND,
- vychází ze systému prediktivní údržby, kdy je čas do opravy stanovený výpočtem zbytkové životnosti,
- prohlídky jednotlivých uzlů jsou prováděny periodicky a ukládány do databází. Je tedy zaručen jejich stav. Nejčastěji v návaznosti na systém TPM.

## **Dělení oprav podle rozsahu [3,4]**

✓ Malá oprava, někdy též běžná:

- slouží k odstranění menších poruch / závad,
- nejčastěji k zajištění provozuschopnosti do střední, popř. větší (generální) opravy,
- náhradní díly bývají drženy skladem (těsnění, řemeny atd.), nebo jsou rychle dostupné u dodavatele,
- krátký čas odstávky, popř. možnost provedení během provozu,
- v podnikové terminologii značené jako oprava I. stupně.

✓ Střední oprava:

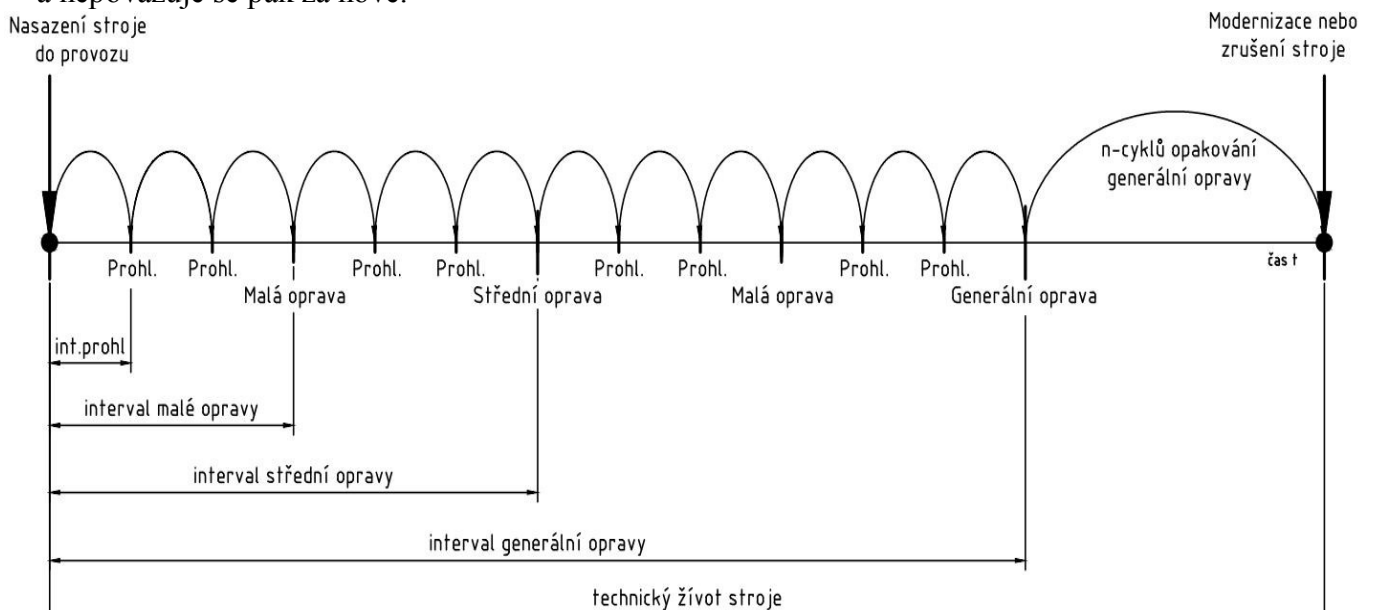
- opravy většího rozsahu a časové náročnosti,
- vyžadují delší odstávku stroje nebo celého zařízení,
- opravujeme, popř. vyměňujeme menší skupiny nebo složitější části strojů,
- oprava vyžaduje plánování, náhradní díly se objednávají v předstihu,

- v podnikové terminologii značené jako oprava II. stupně.
- ✓ Generální oprava:
- komplexní obnovení původních technických parametrů, spolehlivosti a provozuschopnosti,
  - výměny dílů a částí velkého rozsahu (převodovky, motory, oběhová kola),
  - využití různých druhů renovačních technologií u funkčních dílů, které nejsou měněny,
  - oprava bývá plánovaná dlouhodobě, resp. opakovaně v intervalech (viz obr.1.2),
  - v podnikové terminologii značené jako oprava III. stupně.

Mezi druhy oprav se dá také zařadit **modernizace zařízení**[6].

Jedná se fakticky o druh generální opravy, ovšem termín modernizace zahrnuje i zásahy do stroje nebo zařízení, mající za následek především vylepšení technických parametrů, jako je zvýšení výkonnosti, produktivity, lepší hospodárnost, popř. vyšší míra ekologičnosti. Za modernizaci jsou považovány i zásahy do elektrických a ovládacích částí, nemusí se tedy jednat o čistě mechanickou záležitost. Stroj nebo zařízení musí splňovat veškeré požadavky stanovené vyhláškou a závaznými (bezpečnostními) normami, jelikož jsou v tomto případě považovány za nové.

Pokud u stroje nebo zařízení během generální opravy současně neproběhla změna (vylepšení) jeho parametrů (tj. že byly veškeré díly měněny za shodné), nejedná se o modernizaci a nepovažuje se pak za nové.



Obr. 1.2 Schéma oprav [7, vlastní]

Poznámka: Prohl. – prohlídka  
Int.prohl. – interval prohlídky

Na obrázku výše jsou schematicky znázorněny periodické intervaly jednotlivých druhů oprav a prohlídek, přičemž jejich četnost je definovaná tabulkou zásahů preventivní údržby (viz níže), která je nedílnou součástí příručky údržby stroje nebo zařízení[7]. Závady a poruchy zjištěné při prohlídkách a inspekcích se řeší buď bezodkladně (okamžitou údržbou), nebo se vyčká do nejbližšího intervalu opravy (odložená údržba).

### **1.1.3 Metody stanovení intervalu opravy**

Pokud nebudeme brát v potaz opravu po poruše (vztaženou na údržbu po poruše), pak existuje několik metod, jak stanovit vhodný interval opravy dílu, stroje, popř. celého zařízení. Jsou to:

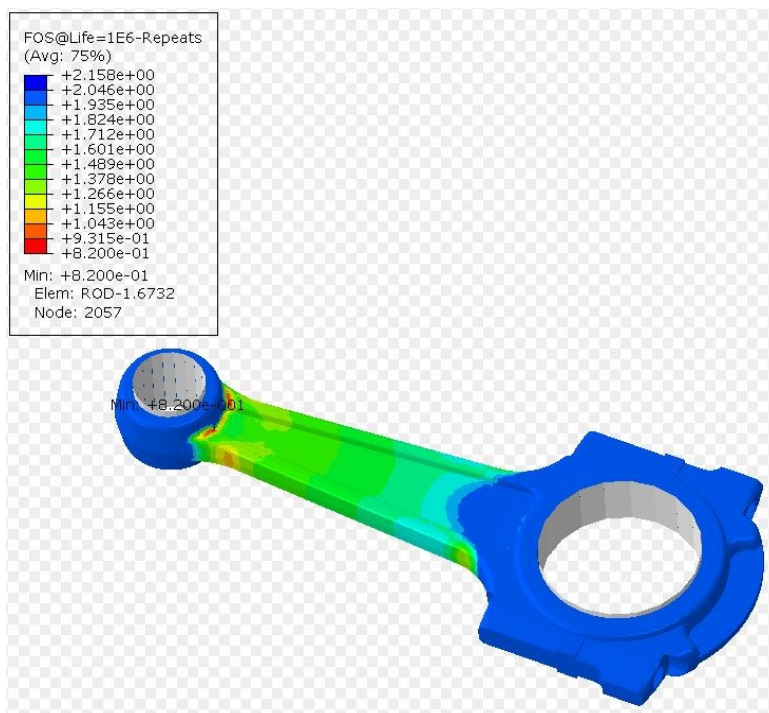
- ✓ stanovení pevných intervalů oprav výrobcem,
- ✓ stanovení opravy nebo výměny po zjištění skutečného stavu,
- ✓ prediktivními metodami odhadu opotřebení,
- ✓ zhodnocením ekonomické výhodnosti opravy.

#### **Stanovení pevných intervalů oprav výrobcem**

Výrobce stroje nebo zařízení musí brát při návrhu v potaz jeho minimální životnost. Tuto označujeme jako návrhovou (vyprojektovanou). Ta souvisí s charakterem provozu, zatížením dílů, jednotlivých uzlů zařízení a jejich postupnou degradací v čase. Zároveň musí být brána v potaz ekonomičnost, resp. cena jak při volbě materiálů, tak při samotné technologii výroby a složitosti součástí. Oprava, popř. výměna dílu je pak stanovena s ohledem na všechny tyto faktory a je uvedena v příručce údržby[8]. Nejčastějším způsobem, jak zvolit správný interval, je v tomto případě výpočet (pomocí Wohlerovy křivky), simulací cyklů namáhání pomocí MKP (metody konečných prvků) nebo ze zkušeností. Poslední z variant se nejčastěji používá u dlouhodobě, opakovaně vyráběných dílů či zařízení. Další možností opravy stanovenou výrobcem je renovace pomocí opravných sad opotřeбенých funkčních ploch. Tato metoda bývá nejčastěji spojována s uložením hřídelí, u pouzder, vodících elementů a cenově náročnějších a komplexních dílů.

Speciálními případy jsou vyhrazená zařízení – zdvihací, tlaková, elektrická a plynová, u kterých jsou pracovní cykly, popř. výměny, stanoveny závaznou vyhláškou nebo normou.

Na obrázku 1.3 je znázorněna ojnice spalovacího motoru zatížená jedním milionem cyklů. V této fázi se již začíná projevovat únava materiálu, která může zapříčinit poškození. Tyto informace pak slouží jako podklad k určení intervalu opravy (výměny).



Obr. 1.3 Simulace únavy pomocí MKP[9]

## Stanovení intervalu opravy po zjištění skutečného stavu

Aby bylo možné zjistit skutečný stav dílu, resp. určit míru opotřebení a zbytkovou životnost stroje nebo celého zařízení, je nutné použít vhodnou kombinaci metod technické diagnostiky. Diagnostika (z. Latinského diagnosis – určení příčiny) je ve smyslu technické praxe vědní obor, který se zabývá rozpoznáváním znaků a stavů sledovaného zařízení, na jejichž základě pak dovede rozpoznat potřebu opravy či výměny dílu ještě před tím, než dojde k poruchovému stavu [4]. Metody technické diagnostiky dělíme na dva základní směry:

- ✓ technická bezdemontážní diagnostika (TBD),
- ✓ technická nedestruktivní diagnostika (TND).

### Technická bezdemontážní diagnostika

Je moderní metodou technické diagnostiky, která je založena na analytickém hodnocení měřených veličin a obsahuje dvě základní podskupiny[4]:

- ✓ funkční diagnostiku, při které sledujeme trendy vybraných provozních parametrů sledovaného objektu. Z nich analyzujeme změny chování a výskyt poruchových jevů.,
- ✓ provozní diagnostiku, kdy měříme veličiny, jež následně analyzujeme. Mezi tyto veličiny patří zejména zvuková emise (Akustická diagnostika), vibrace (Vibrodiagnostika), vyzařované teplo (Termodiagnostika) a rozbor maziv (Tribodiagnostika).



## Technická nedestruktivní diagnostika

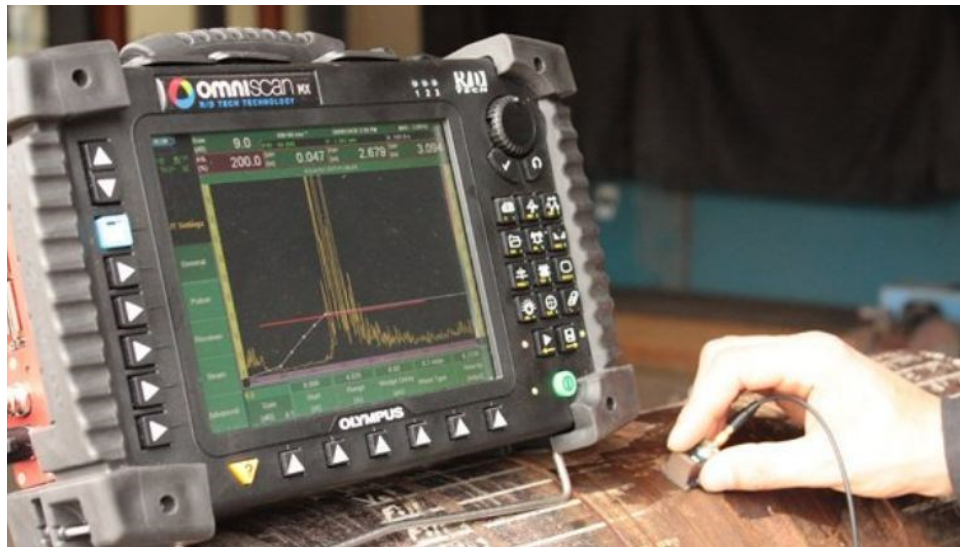
Tato metoda používá „neinvazivních“ technik k diagnostikování integrity, resp. míry narušení struktury materiálu[10]. Sleduje výskyt a množství vad a prasklin ve sledovaném objektu (dílu, konstrukce), na jejichž základě je pak vyhodnocován rozsah poškození. Mezi tyto techniky patří:

- ✓ vizuální prohlídka (Visual examination) - VE, kdy je sledován stav povrchu, svarů a funkčních ploch pohledem. Obecně se maximální výskyt vad a poškození objektu řídí normou, která se k dané problematice vztahuje. např. norma DIN EN ISO 17637 při vizuálním posuzování svarů.,
- ✓ penetrační zkouška (Penetrant test) – PT, jinak taky kapilární zkouška pro zjišťování povrchových vad. Značně rozšířená metoda pro svou jednoduchost, nízkou cenu a využitelnost u všech běžně využívaných materiálů. Zjišťujeme výskyt trhlin, prasklin, pórů [11]. Používaná zejména u svarů. Postup zkoušení je popsán např. v normě DIN EN ISO 23277.,
- ✓ magnetická zkouška (Magnetic particle inspection) – MPI nebo také magnetická prášková zkouška je asi nejrozšířenější metoda TND, a to zejména díky své jednoduchosti a nenáročnosti na obsluhu. MPI metoda je založena na principu deformací magnetického pole, které vznikají v místě trhlin, prasklin, a pórů. Podmínkou je zkoušení feromagnetických materiálů [11]. Postup zkoušení je popsán např. v normě DIN EN ISO 17638.,



Obr. 1.4 Kombinace PT a MPI metody při zkoušení stavu dílu [32]

- ✓ ultrazvuková zkouška (Ultrasonic testing) – UT, má největší dosah ze všech metod TND, resp. zjišťovat vady můžeme i v poměrně velké hloubce pod povrchem. Využívá se zejména při zkoušení tvářených materiálů jako jsou trubky, tyče, plechy, profily. Touto metodou můžeme zjistit jak povrchové, tak vnitřní vady. Postup zkoušení je popsán např. v normě DIN EN ISO 17640.,



Obr. 1.5 Ultrazvuková zkouška vad [11]

- ✓ radiografická zkouška ( Radiography testing) – RT, co se týče odhalení vad v materiálu, nejefektivnější metoda, při které získáváme komplexní obraz zkoušeného dílu. Tento se zároveň dá archivovat, čímž získáváme přehled o vývoji vnitřní struktury a jejich změn v čase. Zároveň se ale jedná o nejdražší a nejnáročnější metodu zkoušení.

Pro účely mé diplomové práce byl popis těchto metod technické diagnostiky zkrácen na nezbytné minimum. V případě Horkovzdušného šoupátka, které je jejím předmětem, se obecně používá především funkčních metod v kombinaci s termo a akustickou diagnostikou při bezdemontážní metodě. Obecně se také dá říct, že se pro diagnostiku vad nepoužívá pouze jediná, ale přistupuje se ke kombinaci více metod TND.

## **Prediktivní metody odhadu opotřebení**

Prediktivní údržba, do které odhady opotřebení spadají, je moderním trendem v údržbě strojů a zařízení. Vychází ze statistických analýz a matematického modelování, které jsou založeny na datech z historie provozu a výskytu poruch, se snahou odhadnout (predikovat) budoucí vývoj.

Data z historie provozu, podle kterých predikujeme, se nazývají **vstupní (nezávislé, vysvětlující) proměnné**. To může být například čas do poruchy, teplota, hluková emise, vibrace, popř. opotřebení funkční plochy[12].

Informace o stavu, která je pak na výstupu a slouží o dalším rozhodování, se nazývá **výstupní proměnná**. Ta má v údržbě nejčastěji formu určení doby do poruchy, pravděpodobnost bezporuchového provozu v určitém okamžiku atd. Výsledkem takové statistické analýzy může být rozhodovací tabulka, kdy na základě možných následků (ohrožení života, výroby) a pravděpodobnosti jevu provádíme odpovídající akci viz tab. 1.1.

Tab. 1.1 Rozhodovací tabulka [12]

Příklad tabulky pro provedení akce		Pravděpodobnost selhání v příštím roce			
		> 10%	1% - 10%	0.01% - 1%	0.0001% - 0.01%
Ohrožení výroby nebo lidského zdraví při selhání	nizké	NÍZKÁ PRIORITA	NÍZKÁ PRIORITA	BEZ ZÁSAHU	BEZ ZÁSAHU
	střední	VYSOKÁ PRIORITA	STŘEDNÍ PRIORITA	NÍZKÁ PRIORITA	BEZ ZÁSAHU
	vysoké	NUTNÁ OPRAVA	NUTNÁ OPRAVA	VYSOKÁ PRIORITA	STŘEDNÍ PRIORITA
	kritické ohrožení	NUTNÁ OPRAVA	NUTNÁ OPRAVA	NUTNÁ OPRAVA	NUTNÁ OPRAVA

Nejčastěji využívanou statistickou metodou v údržbě je Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti.

### Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti

Je široce uplatnitelná statistická metoda, vycházející z exponenciálního rozdělení, navržená Ernstem Weibullem speciálně pro potřeby určení životnosti materiálů. Uvažuje, že riziko výskytu poruchy není v čase konstantní, ale buď monotónně roste, nebo klesá[13].

Částečnou nevýhodou matematických metod ve stanovení doby do poruchy je, že tento jev musí opravdu nastat, což není vždy ekonomicky výhodné. Zároveň musí být k dispozici optimální objem vstupních parametrů, aby bylo možné pravděpodobnost spolehlivě určit.

### Ekonomická výhodnost opravy

I když je tato metoda řazená jako poslední, v podnikové údržbě je většinou brána jako rozhodující při volbě typu údržby a v návaznosti na to i řešení oprav. Jelikož není ekonomický pohled na generální opravu zařízení, resp. opravy a údržbu obecně předmětem mé diplomové práce, uvedu pouze základní možnosti posouzení výhodnosti typu údržby (a následných oprav), generální opravy, popř. modernizace[14]:

- ✓ analýza volby typu údržby a následných oprav;
  - porovnáváme náklady na kvalifikaci, počet a vybavení pracovníků údržby, náklady na následné opravy, nezbytné odstávky a vyčíslení jejich ztrát. Následně

rozhodneme, zda je výhodnější využít metodu oprav po poruše, či je výhodnější aplikovat metody technické diagnostiky.,

- ✓ analýza výhodnosti generální opravy;
  - metodou výpočtu adverzního průměru, což je podíl celkových nákladů ku počtu let využívaného zařízení, definujeme lokální minima, resp. adverzní minimum. Mají – li průměry v čase klesající tendenci, je výhodné do generální opravy investovat. Tato metoda pracuje s pořizovacími náklady na zařízení, náklady na údržbu, běžné a generální opravy, přičemž poslední jmenované je založeno na periodických cyklech GO předepsaných výrobcem.,
- ✓ analýza výhodnosti modernizace
  - v případě, že generální oprava již není výhodná (adverzní průměr neklesá), popř. dochází ke změnám požadavků na produkci, jako např. navýšení výroby, změna technologie navazujících procesů nebo morálnímu zastarání, je možné provést modernizaci (viz. kap. 1.2.2). Její náklady obecně nesmí převyšovat náklady na pořízení nového stroje či zařízení.

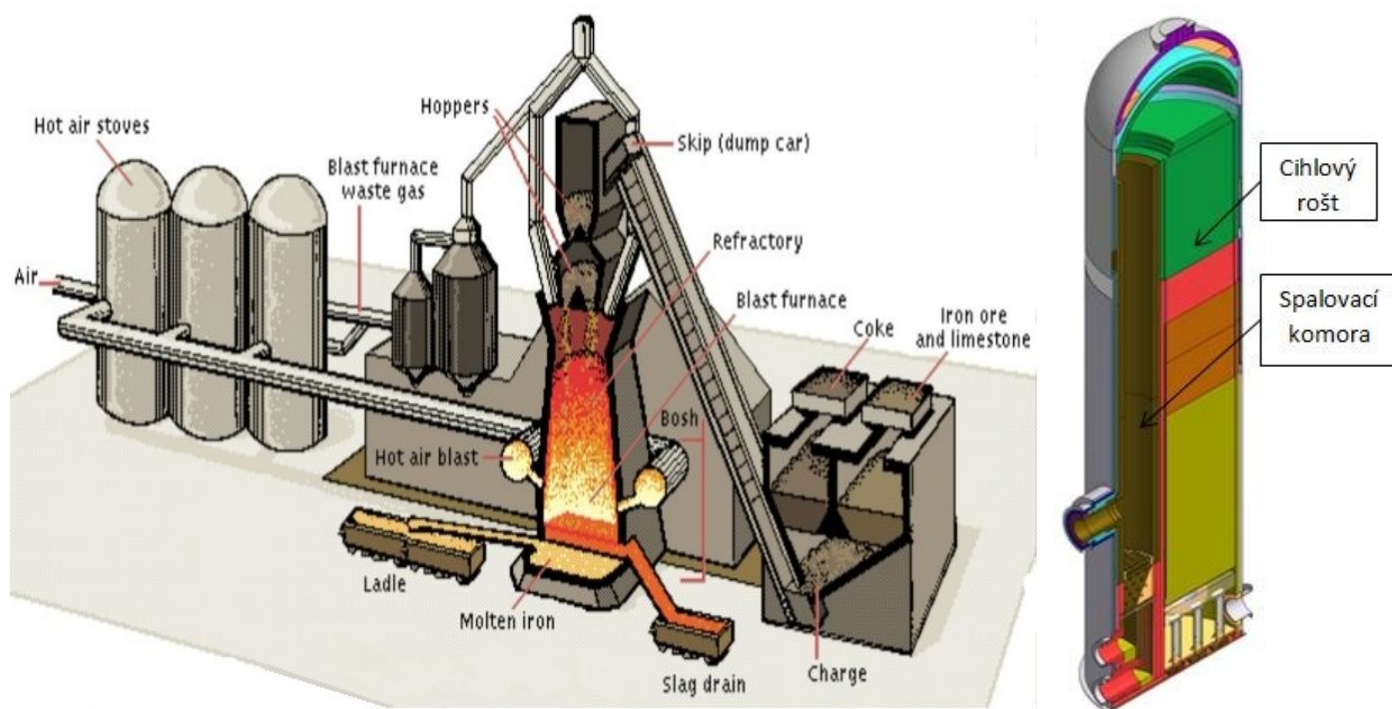
#### **1.1.4 Dílčí závěr**

Obecně se při volbě intervalu a vhodnosti opravy, resp. generální opravy, jedná o kombinaci všech výše uvedených metod. Jejich aplikaci tedy můžeme shrnout takto:

- ✓ výrobce objektu počítá s návrhovou (projektovanou) životností. Na jejím základě tak definuje uzly a funkční části podléhající degradaci. Za optimálních podmínek tak může dopředu určit interval opravy potažmo generální opravy.,
- ✓ metodami TBD a NDT zjišťujeme skutečný stav dílů, na jejímž základě utváříme obraz vývoje degradace v čase. Generální oprava tak může být odložena, popř. uspišena.,
- ✓ prediktivní odhad životnosti s požadovanou přesností zohledňuje skutečné provozní podmínky objektu. Oprava tedy může nastat dříve, než skutečně nastane riziko poruchy. V moderních systémech pak jde o porovnání hodnot návrhové životnosti s vývojem průběžných hodnot získaných z měření (provozní parametry a data ze senzorů).,
- ✓ vždy je třeba zohlednit náklady a ekonomické ukazatele výhodnosti. Generální oprava nemusí být vždy optimální variantou.,
- ✓ správná kombinace výše uvedených metod zajišťuje nejlepší poměr mezi náklady na jedné straně a minimalizací potřeby oprav na straně druhé.

## 1.2 Umístění šoupátka v rámci provozu vysoké pece

Ohřívače větru, do jejichž skupiny šoupátka spadají, jsou zařízení pro předehřev horkého větru resp. vzduchu, který je pod tlakem vháněn do vysoké pece. Zvyšují tak efektivitu celého procesu výroby surového železa. Využívat se začaly v 19. století ve Velké Británii, kde byly vynalezeny a zdokonaleny Edwardem Alfredem Cowperem. Odtud také někdy Cowperovy ohřívače[15]. Umístění ohřívačů (Hot air stoves) v rámci provozu vysoké pece je uvedeno na obr. 1.6

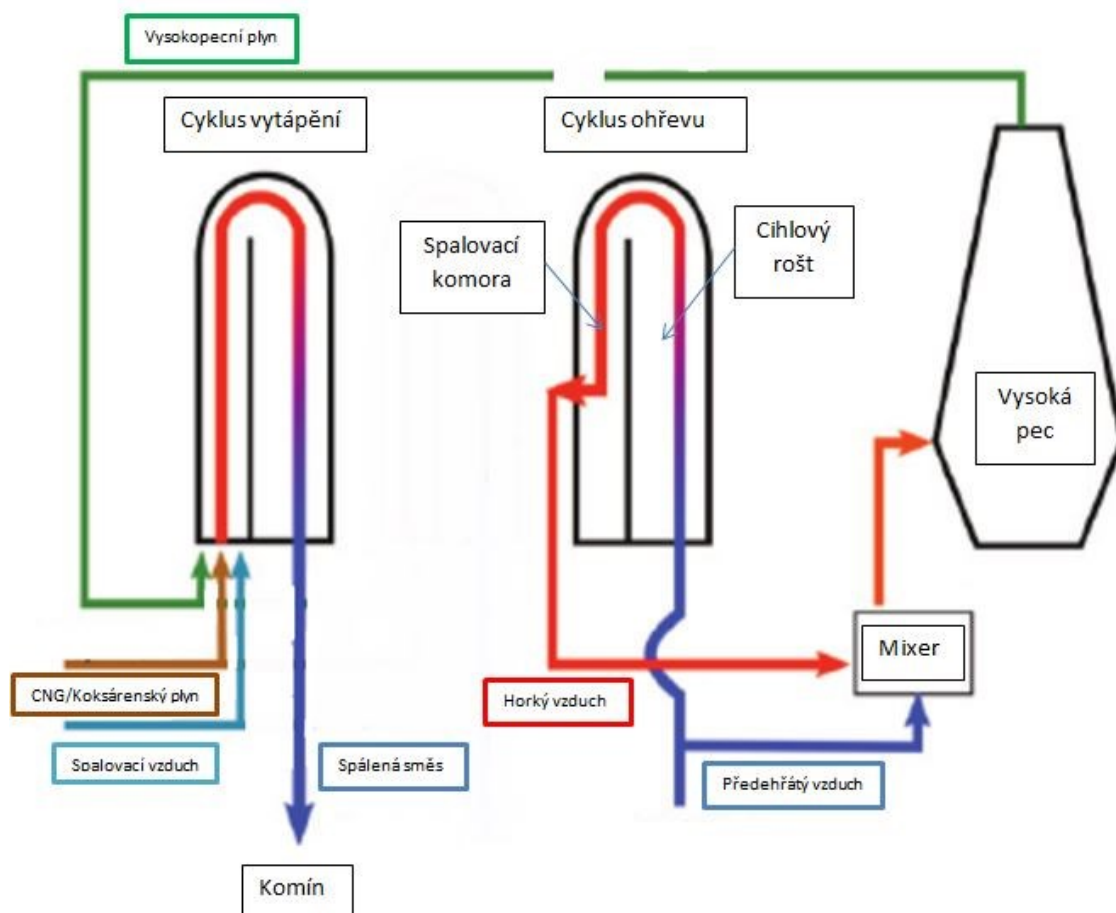


Obr. 1.6 Schéma vysoké pece s popisem hlavních částí a řez ohřívačem [16]

Ohřívač větru má dva základní pracovní cykly viz obr. 1.2[17]:

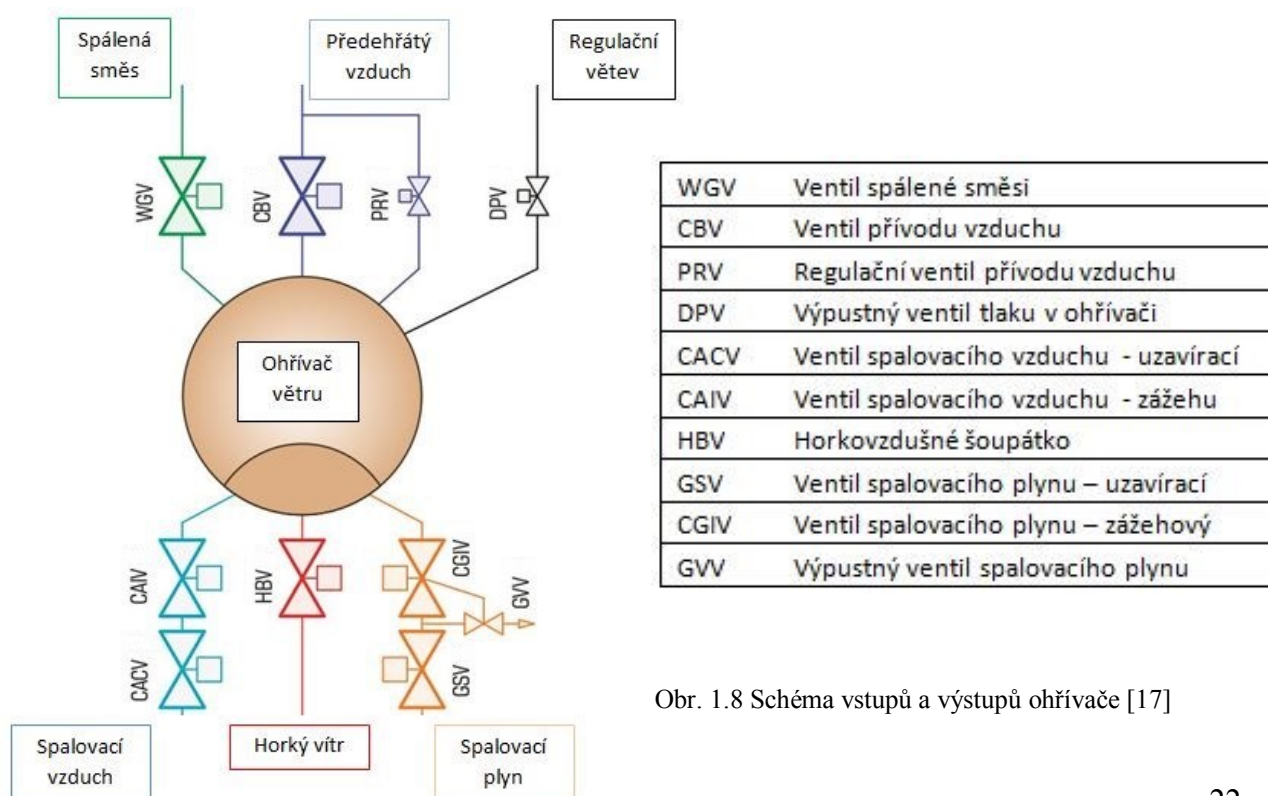
- ✓ vytápění, kdy se cihlový rošt během spalování směsi plynu a vzduchu ve spalovací komoře ohřívá na 1300 – 1400 °C. Doba vytápění je zpravidla 2 – 3 hodiny podle typu a účinnosti ohřívače. K vytápění se užívá vysokopecní a koksárenský plyn nebo jeho směs. K prvotnímu zážehu, popř. ke zvýšení výhřevnosti, je nejčastěji využíván plyn zemní.,
- ✓ ohřevu, kdy je vzduch vháněn opačným směrem přes rošt do výstupního potrubí horkého větru. Před vstupem do okružního větrovodu je možné teplotu regulovat v mísicím zařízení (mixeru). Doba vytápění je zpravidla 1 hodina. Nejčastěji se setkáváme se soustavou tří ohřívačů pro každou pec. Méně časté řešení je soustava čtyř ohřívačů z důvodu potřeby navýšení teploty větru, popř. jako tři plus jeden menší, záložní.





Obr. 1.7 Schéma pracovních cyklů ohřívače [18]

Samotné šoupátko je umístěno na straně spalovací komory na výstupu horkého větru. Zpravidla bývá vřazeno do potrubí společně s vlnovcem, kompenzujícím teplotní roztažnost a deformační potenciál potrubí. Schéma zapojení ventilů v rámci ohřívače je zřetelné na obr 1.8:



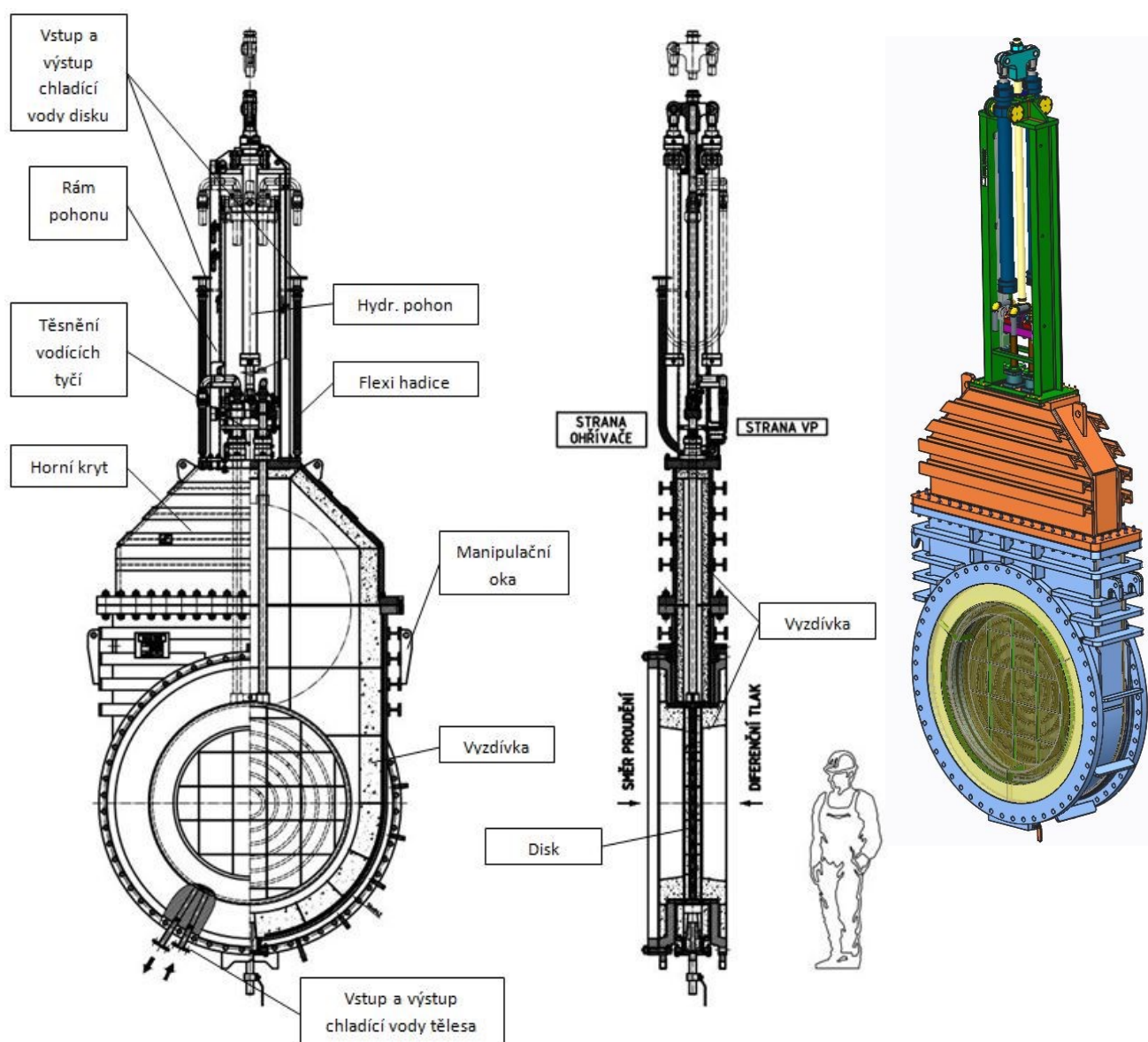
Obr. 1.8 Schéma vstupů a výstupů ohřívače [17]

### 1.3 Popis funkce a specifikace šoupátka

Horkovzdušné šoupátko[19,32] je navrženo jako klapa otevírající a uzavírající výstup horkého vzduchu směrem do vysoké pece. Pohyb disku je realizován za pomoci hydraulického rotačního pohonu s převodovkou nebo hydraulického válce (samostatného, popř. v tandemu). K tomu je pomocí lana nebo řetězu připojeno protizávaží, kompenzující hmotnost disku. V případě poruchy pohonu nebo přívodu hydraulické kapaliny je možné ventil ovládat ručním nouzovým pohonem. Vnitřní povrch hlavních částí – tělesa, disku a horního krytu jsou z důvodu působení vysoké teploty a rychlosti větru opatřeny speciální betonovou vyzdívkou[19].

Sedlo tělesa a disku je opatřeno chladicími kanály, kterými proudí přečištěná průmyslová voda.

Ventil není navržen jako regulační. Pracuje pouze v poloze otevřeno / zavřeno.



Obr. 1.9 Schéma hlavních částí horkovzdušného šoupátka [33, vlastní]

## Princip těsnění ventilu

Klapa je navržena jako těsná dle EN 12266-1:2012 Třída B. Standardně je mezi sedly disku a tělesa mezera 3 – 8 mm, dle konstrukce. V poloze zavřeno je těsnění mezi pracovními plochami (sedly) zajištěno tlakem vzduchu na disk ze strany větrovodu. Ze strany ohřívače je během cyklu vytápění atmosférický tlak. Plochy jsou díky tomu přitlačovány k sobě, což vytváří potřebnou těsnicí sílu. Z důvodu vysoké teploty se nepoužívá dodatečné těsnění, jde pouze o styk kov – kov. Před otevřením šoupátka je třeba zajistit vyrovnaní tlaku v ohřívači a větrovodu pomocí regulačního ventilu přívodu vzduchu PRV.

## Návrhové a provozní parametry řešeného ventilu

Tab. 1.2 Návrhové a provozní parametry (33, vlastní)

<b>Horkovzdušné šoupátko ND1300 / PN10 -800</b>		
Značení v procesní skupině ohřívače větru		HBV
Název		Hot blast valve / Horkovzd. šoupátko
Typ		Uzavírací šoupátko
Funkce		Hradící
Jmenovitý průměr / DN	mm	1300
Světlost	mm	800
Příruby dle DIN 2501	PN	10
Instalovaná pozice		Horizontální vstup / výstup
Pohon		2 x Hydraulický válec
Minimální hydraulický tlak přívodu	bar	150
Médium - typ		Vzduch
Médium - provozní teplota	°C	max. 1400
Médium - provozní tlak	bar g	4,5
Médium – maximální dovolený tlak	bar g	10
Médium – dovolený tlak při manipulaci diskem	bar g	0,2
Zkušební tlak při 20°C	bar g	7
Chladicí voda - zkušební tlak	bar g	12
Chladicí voda - požadovaný průtok (těleso/disk)	m <sup>3</sup> /hod	25/35
Těsnění – sedlo / disk		Tvrdokov
Vyzdívka		Vysokoteplotní beton
Hmotnost	kg	21300



## **2 Premisy pro technický návrh řešení**

Po rozhodnutí, že je generální oprava jak ekonomicky, tak technicky výhodná, přičemž vychází z metod popsanych v bodě 1.3, je provozovatel nucen zvolit strategii vedoucí k jejímu uskutečnění. Proto bych nejprve rád popsal, jakým způsobem se zjišťuje stav Horkovzdušného šoupátka na ohřívacích a poté přešel k obecnému postupu, který by měl následovat.

### **2.1 Metody stanovení intervalu opravy Horkovzdušného šoupátka**

U Horkovzdušného šoupátka, jakožto klíčového zařízení při produkci ohřátého vzduchu vháněného do vysoké pece, je přístup jednotlivých provozovatelů odlišný. Dají se však nalézt společné prvky, kterými jsou:

- ✓ předpokládaná životnost klíčových částí udávaná výrobcem,
- ✓ pravidelné inspekce a prohlídky, zjišťování skutečného stavu během provozu.

Prediktivní metody dle mých dotazů na provozovatele využívány nejsou. A to zejména z důvodu velkého rozptylu vstupních parametrů (doby do poruchy), kde do hry vstupuje příliš mnoho faktorů. Horkovzdušné šoupátko je u většiny provozovatelů drženo minimálně v jednom kusu jako pojistný náhradní díl ohříváče horkého vzduchu v rámci pohotovostní zálohy.

Výhodnost GO je tím pádem posuzována až po demontáži, a to na základě metod nedestruktivní technické diagnostiky, zhodnocení celkového stavu – potřeby výměn, popř. renovace jednotlivých částí, a následnou ekonomickou analýzou.

#### **Předpokládaná životnost ventilu**

V případě Horkovzdušného šoupátka není výrobcem udávaná celková životnost. Minimální výpočtová se pak stanovuje na 5 let. Vzhledem k faktu, že se jedná o vyhrazené zařízení – tlakovou nádobu podléhající EN 286-1:2008, musí být v souladu s touto normou proveden její návrh, výpočet a následné revize během provozu, definované v příručce údržby. To samé platí pro další aplikované prvky podléhající revizím, např. lana protizávaží. V běžné praxi se interval do generální opravy, popř. vyřazení, s ohledem na provozní parametry, pohybuje mezi pěti a sedmi lety.

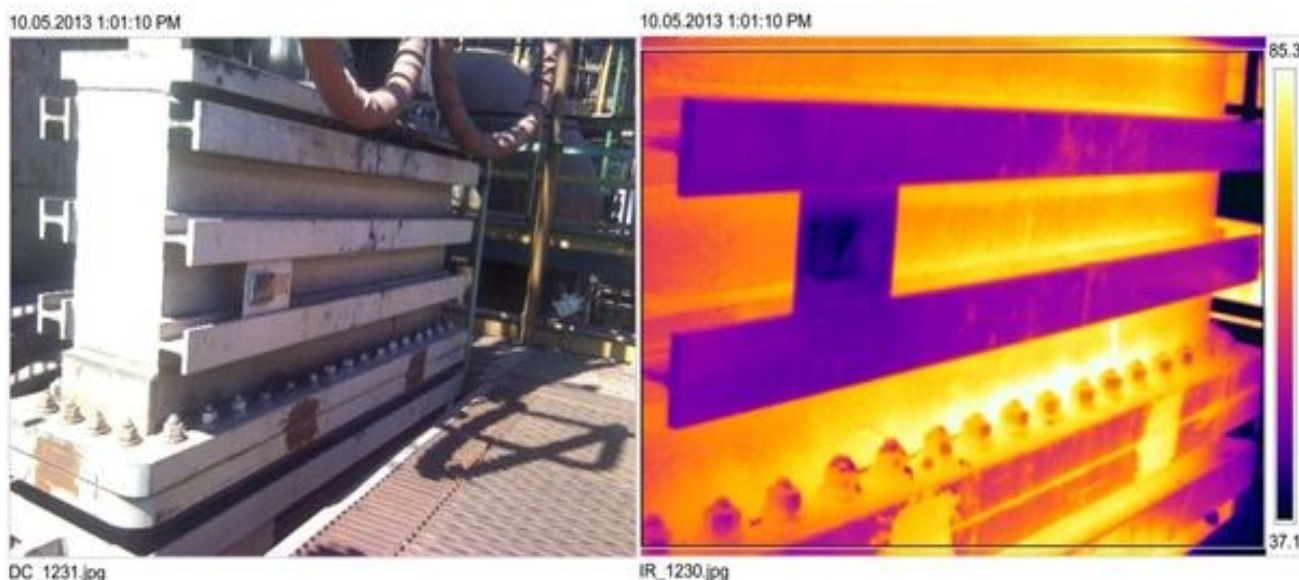
#### **Vyhodnocení skutečného stavu během provozu**

Jedná se primárně o vyhodnocení provozních parametrů z historie řídicího systému a měření veličin při pravidelných inspekcích a prohlídkách. A to:

- ✓ tlakového spádu na ventilu při otevřeném / zavřeném ventilu,

- ✓ teplotního a tlakového spádu vody v chladících kanálech disku a tělesa ventilu,
- ✓ teploty povrchu předřazeného kompenzátoru,
- ✓ nárůstem tlaku v hydraulickém okruhu pohonu disku.

Při posuzování stavu metodami TBD během inspekci se využívá výhradně termodiagnostika, viz obr.2.1. Uvažuje se o aplikaci diagnostiky zvukové emise, která je zatím ve stádiu vývoje[20].



Obr. 2.1 Zjišťování stavu vyzdívky termodiagnostikou [20]

## 2.2 Dokumentace pro provedení generální opravy

K tomu, aby bylo možné provést jakoukoliv opravu, potažmo generální opravu, je nutné ji nejprve rozložit na jednotlivé úseky (fáze). Tyto fáze, resp. jejich obsah, jsou závislé na rozsahu a obecně vychází z normy ČSN EN ISO 13460:2009. Přesto ji každý výrobce, nebo v případě starších strojů zhotovitel prací, upravuje dle svých potřeb. Základní rozdělení je následující:

- ✓ dokumentace z fáze přípravy,
- ✓ dokumentace z průběhu opravy,
- ✓ předávací dokumentace.

### Dokumentace z etapy přípravy

Jde zejména o materiály potřebné ke správnému určení strategie, technologického postupu opravy, manipulace s ním, definování potřebné délky odstávky provozu, potřeby lidských zdrojů, jejich vybavení a v neposlední řadě i ekonomické náročnosti. V této fázi je vytvořen harmonogram prací a jsou zajišťovány náhradní díly. Dokumenty potřebné v této fázi:

- ✓ příručka údržby – definující způsoby a postupy oprav preventivní a poruchové údržby, montážní a demontážní postupy, typy maziv a deklarované parametry objektu opravy.

Součástí příručky údržby musí být i seznam náhradních dílů s katalogovými čísly pro jejich identifikaci a objednání, stejně jako seznam montážních a demontážních přípravků.,

- ✓ výkresová dokumentace renovovaných dílů – obsahující přesné rozměry a tolerance jednotlivých funkčních částí, velikosti a typy svarů, jakost materiálu a způsoby zkoušení,
- ✓ seznam nakupovaných dílů OEM (Original equipped parts) - tzn. dílů, které nejsou vyráběny přímo dodavatelem objektu, a to zejména v případě, že je příručka údržby blíže nedefinuje,
- ✓ schéma zapojení - elektrických / elektronických (řízení, logické obvody, silové prvky), hydraulických, pneumatických, potrubních a jiných rozvodů,
- ✓ nátěrové specifikace, popř. konzervační postupy pro dlouhodobé skladování,
- ✓ zadávací dokumentace v případě, že je generální oprava zadávána v rámci otevřené soutěže (outsourcingu),
- ✓ příručka pro provedení generální opravy (Overhaul workshop manual) – někteří výrobci zařízení poskytují provozovatelům, popř. smluvním partnerům komplexní dokument umožňující provedení generální opravy. Obvykle jsou součástí tohoto dokumentu všechny výše uvedené. V případě, že se již OEM díly nevyrábí, obsahuje dokument seznam dílů se shodou.

### **Dokumentace z průběhu opravy**

V průběhu generální opravy je potřeba zdokumentovat veškeré klíčové kroky ovlivňující funkci a sloužící ke kvalitativnímu posouzení zhotovených oprav. Mezi dokumenty z této fáze patří:

- ✓ záznamy z provedených zkoušek NDT - dokumenty ve formě protokolů o zkouškách musí odpovídat požadavkům ČSN EN ISO pro danou metodu,
- ✓ záznamy z kontrol postupu prací, popř. dosažení milníků (MoM – minutes of meeting), kde se aktualizují a koordinují požadavky na opravy a renovace jednotlivých uzlů objektu,
- ✓ WPS/WPQR protokoly k provedeným svarům, měřicí (rozměrové) protokoly a protokoly o zkouškách pro vyhrazená zařízení (tlakové zkoušky, materiálové zkoušky, dílčí části elektroinstalace a řízení) dle požadavků platné legislativy a závazných norem.

## **Předávací dokumentace**

Zde se jedná o formální ukončení prací generální opravy, a proto by předávací dokumentace měla obsahovat:

- ✓ prohlášení o shodě objektu opravy, resp. generální opravy – stroj nebo zařízení plně odpovídá ve všech směrech původnímu zařízení,
- ✓ as- build dokumentaci – v případě provedených změn záznam (výkresové revize) s jejich definicí a popisem. Jde zejména o změny trasování elektro, hydraulických, pneumatických, potrubních a jiných rozvodů. Dále úprava funkčních ploch na opravné rozměry předepsané výrobcem. Změny nátěrů a modifikace mazacích plánů po dohodě s výrobcem ,popř. autorizovanou osobou v dané problematice.,
- ✓ revize vyhrazených zařízení,
- ✓ protokoly o provedených funkčních a zátěžových zkouškách (performance tests).

## **2.3 Plánování generální opravy**

Proto, aby byla oprava provedena rychle a efektivně, to znamená s co nejnižšími finančními náklady a dopady na produkci finálních výrobků, musí být správně naplánována. Proto, aby se tak stalo, jsou nutné následující kroky[4]:

- ✓ definovat způsob provedení opravy,
- ✓ vytvořit management a koordinaci prací,
- ✓ zajistit harmonogram opravy,
- ✓ zajistit prostředky a přípravky k provedení opravy,
- ✓ definovat způsoby a intervaly kontrol,
- ✓ vytvořit pracovní příkazy jednotlivých úkonů.

### **Způsob provedení opravy**

V podstatě existují dva základní způsoby provedení generální opravy, kde základní parametry pro volbu jsou technické a ekonomické možnosti provozovatele objektu:

- ✓ vlastními silami – u velkých a rozsáhlých podniků se silnou vlastní vnitřní údržbou. Velkou výhodou je znalost historie provozu a údržby objektu, obecně nižší náklady na opravu také odpadá nutnost transportu mimo vlastní areál a v neposlední řadě riziko zdržení dodávky subdodavatelem. Nevýhodou jsou vysoké nároky na strojní a dílenské vybavení, kvalifikace pracovníků údržby a nutnost zajištění kompletní dokumentace

z etapy přípravy. Dá se říct, že se v poslední době od této varianty ustupuje ve prospěch následující;

- ✓ outsourcingem – v českém překladu „z vnějšího zdroje“, což je způsob, kdy je na základě výběrového řízení zvolena externí firma. Určujícími parametry výběru jsou cena a kompetence k jejímu provedení. Dodavatelem v těchto případech bývá:
  - výrobce objektu opravy přímo nebo prostřednictvím svého zastoupení pro danou lokalitu. Tato varianta se široce uplatňuje zejména v poslední době v rámci After sale servisu, tj. pozáruční péče o zákazníka,
  - firma specializovaná na provoz a údržbu daného objektu popř. systému.

Výhodou této varianty je komplexnost dodávky, kdy odpadají vysoké technické a personální nároky na provozovatele. V dnešní době, kdy je objektem opravy / údržby čím dál složitější zařízení, je tato metoda široce využívána. Moderním trendem je také návaznost na „Průmysl 4.0“, kdy je výrobce na základě on-line přenosu dat o provozu a poruchách obeznámen se stavem zařízení a může tak sám informovat provozovatele o potřebě opravy. Další často uváděnou výhodou je garance a záruka na provedenou práci.

### **Management a koordinace oprav**

Řízení opravy je úzce spjaté se způsobem provedení. V případě realizace vlastními silami management údržby, podřízený technickému úseku podniku, jmenuje na základě požadavku koordinátora opravy. Tím je nejčastěji inženýr údržby, který v rámci kompetencí uvedených v ČSN EN 15628:2015:

- ✓ připravuje dokumentaci k opravě,
- ✓ zpracovává harmonogram prací s jednotlivými milníky,
- ✓ koordinuje postup a návaznost jednotlivých činností (workflow),
- ✓ koordinuje inspekce a kontroly provedených úkonů, ze kterých tvoří zápisy na pravidelných jednáních po dosažení milníku (Minutes of meeting),
- ✓ ve spolupráci s úsekem BOZP stanovuje a dbá na dodržování pravidel bezpečnosti práce, ochrany zdraví a životního prostředí dle příslušných zákonů.

V případě outsourcingu je koordinátor jmenován dle vnitřní struktury dodavatelské firmy. Nejčastěji se jedná o manažera projektu s kompetencemi inženýra údržby.

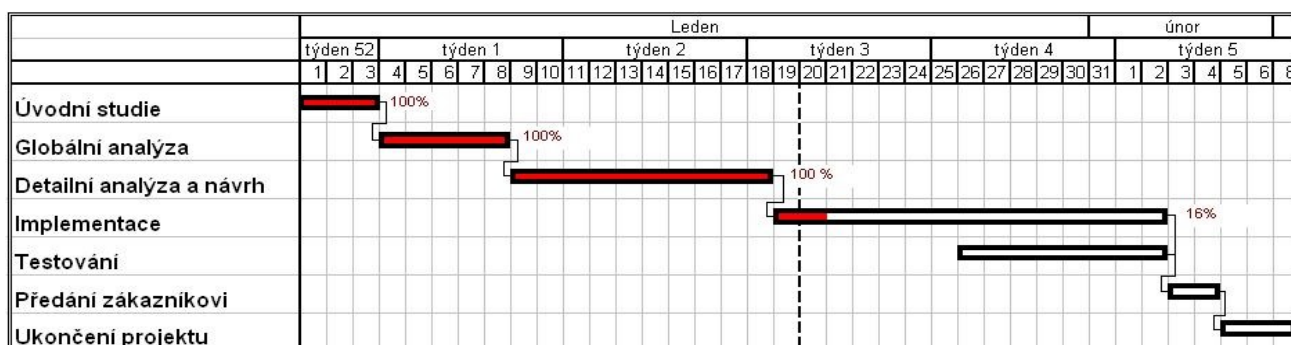
Speciálním případem v provádění oprav vlastními silami je asistence zástupce výrobce či odborné firmy ve funkci dozoru (supervizora) prováděných prací. Ten na základě znalostí

a dovedností určuje rozsah opravy, dohlíží na jakost a kvalitu provedených prací, dodržování technologických postupů a poskytuje nezbytné know – how. Úzce spolupracuje s koordinátorem na straně zadavatele.

### Zpracování harmonogramu

Harmonogram prací je dokument, který se tvoří v etapě přípravy a kterým se tvoří časový plán. Tedy návaznost jednotlivých kroků oprav, jejich průběhu, nasazení lidských sil a prostředků a nákup, popř. dodávky potřebných dílů. Definuje průběh generální opravy od převzetí do dokončení – předání objektu opravy. Za tvorbu harmonogramu je zodpovědný koordinátor projektu opravy. Dnes je nejčastějším způsobem zpracování harmonogramu pomocí WBS (Work breakdown structure) dokumentu. Ten obsahuje hierarchický rozklad cíle projektu na jednotlivé součásti a dále pak postupně až na jednotlivé dílčí kroky[21]. Ke grafickému zobrazení se nejčastěji volí Ganttův diagram, viz tab. 2.1. Pro samotnou tvorbu se dnes používají zejména softwarové nástroje určené pro projekt management, z nichž asi nejznámější je MS Project, dostupný v balíku MS Office[22].

Tab. 2.1 Ganttův diagram [21]



### Prostředky a přípravky

Uvedené prvky by měly být nedílnou součástí příručky údržby. Ta je ale zaměřena zejména na provádění základních úkonů a výměn dílů. Proto by tyto měly být definovány ještě před započítáním vlastní práce, aby nedošlo ke zdržení z důvodu výroby, dopravy, přesunů na jiná pracoviště (subdodávky prací). Pro generální opravu je proto žádoucí dopředu zajistit (vyrobiť) tyto prostředky:

- ✓ speciální (jednouúčelové) nářadí nutné k provedení montáže / demontáže (renovaci), jiné potřebné nářadí (typizované) a další prostředky – hydraulické panenky, stahováky na ložiska, lisovací technika, tlakovací přípravky,
- ✓ ustavovací prostředky pro svařování, popř. kalibraci a měření,
- ✓ vybavení dílny (rýsovací stoly, svařovací technika),

- ✓ pokud již nejsou obsaženy v příručce údržby, je nutné specifikovat postupy správné demontáže a zpětné montáže podsestav a dílů,
- ✓ součástí by měla být i bezpečnostní opatření k provádění testů, jako např. jáma pro tlakovou zkoušku vzduchem a jiné.

### **Způsoby a intervaly kontrol**

Každý dílčí krok opravy musí mít svůj kontrolní proces, při kterém se verifikuje správné provedení, odpovídající požadavkům na jakost materiálu a kvalitu odvedené práce. K tomu slouží milníky, popř. engineering review, při kterém je veden zápis (viz. Management a koordinace oprav) za účasti odborně způsobilých techniků s osvědčením – revizních techniků, popř. jiných autorizovaných techniků a technologů. Součástí kontrol jsou:

- ✓ inspekce – zkoumání shody měřením, pozorováním a testováním charakteristik objektu,
- ✓ revize – kontrola a validace stavu revizním technikem s oprávněním dle platné vyhlášky a norem.

Součástí je i metodika posuzování stavu jednotlivých dílů a sestav stroje NDT diagnostikou, v návaznosti pak definice požadovaného zásahu – výměna, renovace, ponechání původního.

### **Pracovní příkaz**

Pracovní příkaz je dokument pracovníků údržby, obsahující veškeré informace potřebné k provedení práce, v tomto případě opravy včetně odkazů na související dokumenty.

V případě opravy příkaz vydává koordinátor, popř. inženýr / mistr údržby. Dokument by měl obsahovat údaje o činnosti, tzn. údaje o vystavení a validaci, definici činnosti, rozsah a výpis zdrojů, dílů, přípravků a požadavek na jakost (kontrolu).

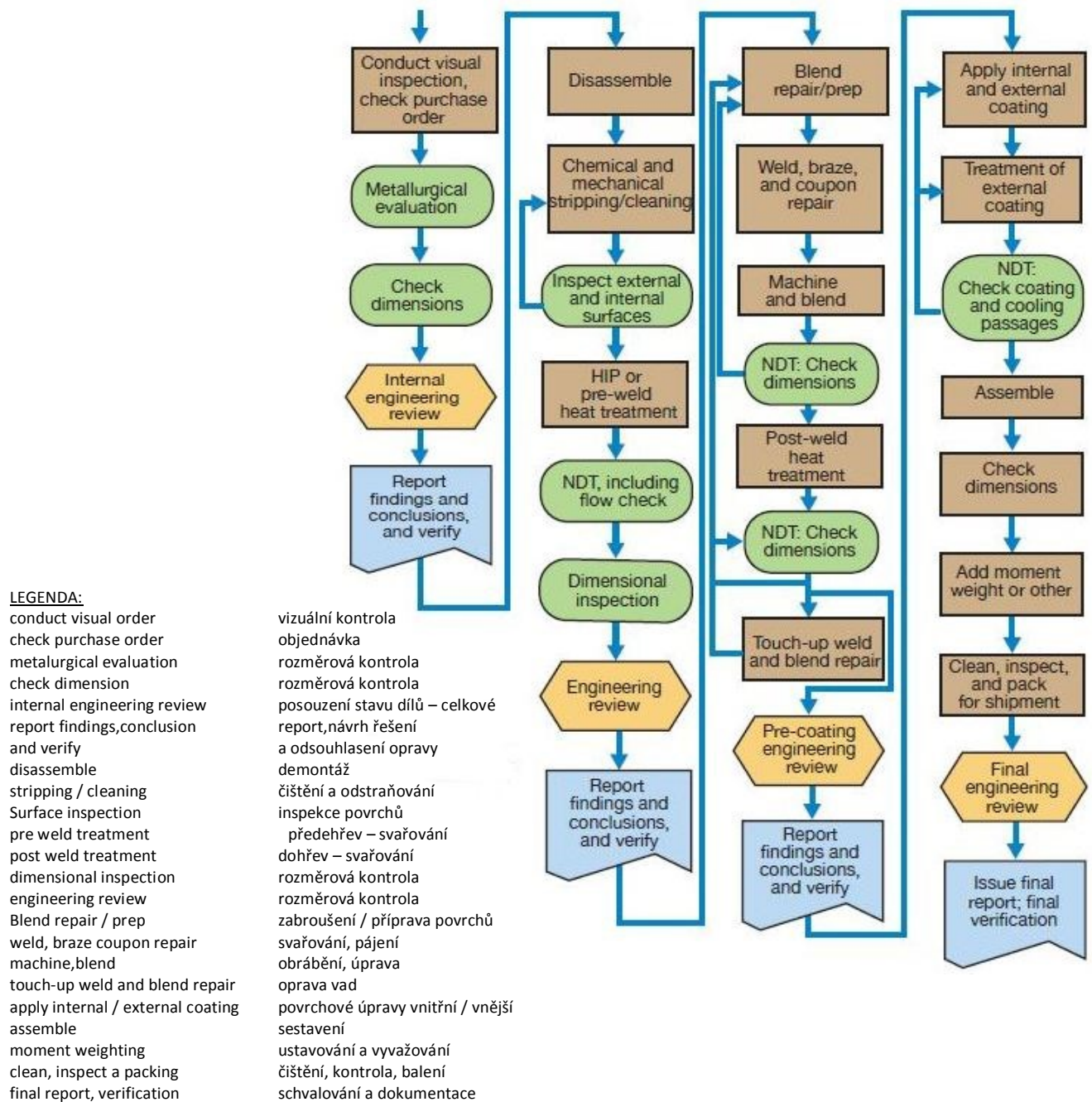
## **3 Obecný ideový a technický návrh řešení**

### **Rozfázování a přehled údajů obsažených v technologickém postupu:**

- ✓ demontáž,
- ✓ čištění a odstraňování koroze / nátěrů,
- ✓ stanovení rozsahu opravy / NDT,
- ✓ specifikace náhradních dílů a způsoby renovace,
- ✓ vlastní oprava,
- ✓ specifikace povrchových úprav a nátěrů,

- ✓ zpětná montáž,
- ✓ provozní média a maziva,
- ✓ zkoušení a ověřování funkce,
- ✓ konzervace, uskladnění.

Technologický postup je sled činností, které jsou obsaženy v kapitolách výše a jedná se tak v podstatě o klíčový dokument, resp. návod, podle kterého postupujeme v jednotlivých bodech od diagnostiky stavu až po konečnou přejímku objektu. Příklad zpracování blokového schématu postupu generální opravy turbínového kola je zobrazen na obr. 3.1:



Obr. 3.1 Blokové schéma postupu opravy [23]



V návaznosti na vytvořený harmonogram a přípravnou fázi realizujeme vlastní opravu objektu v následujících krocích.

### 3.1 Čištění

Tento krok slouží k přípravě pro demontáž a posouzení metodami technické diagnostiky a následným renovacím. Čištění může být provedeno přímo na nadřazeném celku či těsně po demontáži a transportu na místo opravy (do dílny). Rozlišujeme tyto metody:

- ✓ mechanické čištění – odstranění zejména hrubých nečistot, nátěrů a koroze;
  - ruční – pro malé plochy a tvarově složitější součásti, používáme zejména kartáče, brusné papíry,
  - strojní – použití vibračních a rotačních strojů s brusnými nástavci,
  - vodní – za použití vysokotlakých čističů,
  - otryskání – tlakovzdušné nebo lopatkové. Částice písku jsou unášeny vysokou rychlostí proti čištěnému povrchu, čímž způsobují jeho abrazi.
- ✓ chemické čištění – jako další krok po mechanickém čištění;
  - kyselinami – zejména kyselinou fosforečnou, kde je dobře uplatnitelná pro odstranění zbytkové koroze,
  - čisticími prostředky přímo určenými k této funkci, např. Perdix, Sonax atd., v provedení oplachové a bezoplachové,
- ✓ další
  - elektrolitické – odstranění koroze za pomoci elektrolytické reakce,
  - ultrazvukové - nečistoty jsou rozrušeny a následně odplaveny z předmětu pomocí mechanické energie,
  - parou – zejména pro neutralizaci povrchu po chemickém čištění, popř. odstraní mastnoty a konzervační látky z meziproců a skladování.

### 3.2 Demontáž

V tomto kroku vycházíme z demontážních postupů uvedených v příručce údržby, v případě potřeby doplněné o detailní dokumentaci v etapě přípravy. Demontáži obvykle předchází hrubé čištění, přičemž běžně postupujeme takto:

- ✓ demontujeme objekt z nadřazeného celku a transportujeme do místa opravy – servisního střediska,

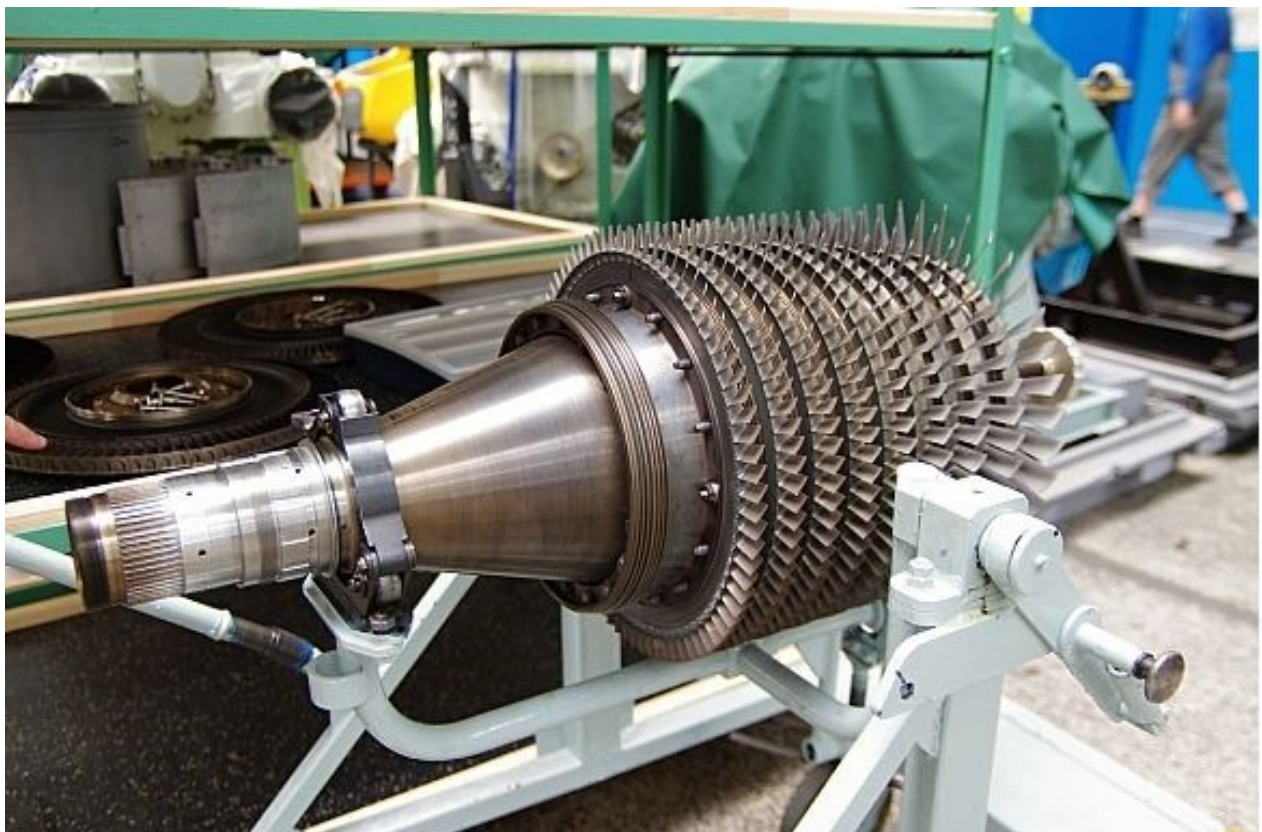
- ✓ demontujeme objekt na díly a podsestavy podléhající následné diagnostice a samotné opravě.

Postup pro transport na dílnu je následující:

- ✓ ustavení do přípravků, popřípadě na stůl či podpěry, kontrola stability,
- ✓ příprava náradí a dokumentace, potřebné k demontáži na díly a podsestavy,
- ✓ vypuštění provozních kapalin – olejů, hydrauliky, chladicí vody,
- ✓ vlastní demontáž,
- ✓ označení demontovaných dílů, ošetření funkčních ploch, rozřídění, vyčištění.

Postup je samozřejmě závislý na typu, funkci, procesu a povaze provozu zařízení. Při nakládání s provozními kapalinami jakožto nebezpečnými látkami definuje podmínky správné manipulace a skladování legislativa, popř. již neplatná norma ČSN 65 0201. Příklad ustavení do přípravku po demontáži a očištění je uveden na obrázku 3.2.

Bližší popis prostředků a přípravků je uveden v kapitole 2.3.



Obr. 3.2 Demontovaný kompresor turbínového motoru vrtulníku [24]

### 3.3 Stanovení rozsahu opravy

Po demontáži na podsestavy a díly, rozřídění a vyčištění přistupujeme k vlastní analýze, u které stanovujeme:

- ✓ míru poškození jednotlivých dílů;
  - únavové poškození – vizuálně, defektoskopicky zjišťujeme nepřípustné vady dle výrobní dokumentace (praskliny, trhliny, pitting),
  - fyzikálních vlastností - měřením opotřebení funkčních ploch (váhový úbytek, tloušťka, koroze), viz obr. 3.3,
  - změna materiálových vlastností (např. z přehřátí či nedostatečného mazání),
  - maximální tolerované hodnoty poškození u vyhrazených zařízení (např. počet prasklin na jmenovitou délku u ocelových lan),
  - stav příslušenství – elektroinstalace, řízení, hydraulické, pneumatické, plynové rozvody,
- ✓ tvorba seznamu dílů k výměně a renovaci;
- ✓ tvorba cenové kalkulace (finanční náročnosti) a fotodokumentace. Výstupem by měla být technická zpráva o stavu zařízení.;
- ✓ předběžný termín dokončení opravy a konzultace se zákazníkem (investičním útvarem) o ekonomické výhodnosti generální opravy.

V případě, že díl nevykazuje žádné opotřebení či je toto opotřebení v tolerovaných mezích do dalšího cyklu provozu, považujeme jej za dobrý a neprovádíme žádnou akci.



Obr. 3.3 Vážné poškození ložisek a hřídelí [25]

### 3.4 Vlastní oprava

S ohledem na stanovený druh a míru poškození dílu či podsestavy volíme technologicky a ekonomicky nejvýhodnější postup opravy. Její způsob dělíme následovně:

- ✓ výměna za náhradní díl,
- ✓ díl renovovaný.

#### Náhradní díly

V případě, že je poškození původního dílu natolik vážné, že není možné jej jakkoliv opravit a znovu použít, nebo je oprava neefektivní, přistupujeme k instalaci jiného dílu. Typicky se to týká zejména částí motorů a převodovek – ložiska, ozubená kola, zlomené či prasklé hřídele. V tomto případě využijeme jednu ze dvou možností:

- ✓ nový díl;
  - OEM (original equipped manufacturer) – originální díl předepsaný většinou výrobcem. Výrobce v tomto případě zaručuje bezchybnou funkci v souladu s povahou a provozem zařízení,
  - nonOEM – neoriginální díl, rozměrově a kvalitativně shodný s originálním. Nejčastěji využívaná varianta v případě, že se OEM díly již nevyrábí, či je k dispozici kvalitativně lepší nebo ekonomicky výhodnější díl. Záruka je v tomto případě omezena jen na samotný díl, přičemž musí být přihlédnuto k povaze a provozu zařízení,
- ✓ použitý díl – jde zejména o díly ze zásob (záložní), které jsou použité, ale nevykazují poškození či byly opraveny v rámci průmyslové renovace.

#### Renovované díly

V případě, že se nejedná o limitní poškození (ve smyslu míry nepřipustných vad a ekonomické výhodnosti), můžeme přistoupit k renovaci. Tím je myšlen soubor operací, kterými opotřebenému či jinak poškozenému dílu vracíme jeho původní vlastnosti (geometrické rozměry, materiálové vlastnosti, tvar). Další možností je úprava na opravné rozměry, tzn. například změnu uložení, vymezení vůlí. Přehled jednotlivých renovačních technologií[26]:

- ✓ mechanické;
  - obráběním – mechanickým, elektroerozivním, ultrazvukovým,
  - přetvářením – rovnáním (za studena, tepla), pēchováním, zdelšováním,
  - substitučním – separátní funkční plochou, závitováním,

✓ tepelné;

- navařováním – ručním, strojním (metody MAG, MIG, TIG, pod tavidlem atd.),
- metalizací – plamenem, elektrickým obloukem,
- pájením – měkkým, tvrdým,
- vyléváním – tlakovým, odstředivým,
- chemicko-tepelným - cementací, nitridací, železením,

✓ elektrické

- elektroerozivním,
- elektromagnetickým.

V případě, že díl prošel renovací, je žádoucí následné tepelné zpracování. A to z nutnosti navrácení původních vlastností upraveným funkčním plochám a odstranění vnitřního pnutí po svařování. Správný postup je v kompetenci technologa tepelného zpracování.

### **3.5 Specifikace povrchových úprav a nátěrů**

#### **Povrchové úpravy**

Povrchovou úpravou je v tomto bodě myšlena zejména funkční, ochranná nebo protikorozivní vrstva kovu nanášená na plochy dílu, součásti. Nejčastější jsou v tomto směru:

- ✓ povlakování – nanášení tvrdých a kluzných vrstev TiN (Nitrid Titanu) a TiAlN (Titan Aluminium Nitrid) na funkční plochu kondenzací par ve vakuu metodami PVD (Physical Vapour Deposition) - Fyzikální depozice par, CVD (Chemical Vapour Deposition) - Chemická depozice par a PACVD (Plasma assisted Chemical Vapour deposition) - Chemická depozice pomocí plazmatu[27],
- ✓ zinkování – žárové nebo galvanické nanášení ochranné protikorozní vrstvy,
- ✓ chromování – elektrochemické nanášení vrstvy chromu na základní materiál pro zlepšení otěruvzdornosti a kluznosti (hydraulické tyče, vodítka),
- ✓ niklování – galvanicky či chemicky nanášená antikorozní ochrana (zejména pak veralizace),
- ✓ zlcení, stříbření, mědění – aplikace zejména v elektrotechnice pro zlepšení vodivosti.

#### **Nátěry**

Předmětem je zejména systém ochranných povrchových vrstev dle ČSN EN ISO 12944:1998 – Nátěrové hmoty, kde se jednotlivé části normy „Zabývají hledisky, která jsou významná pro dosažení odpovídající protikorozní ochrany. Možná jsou i dodatečná nebo jiná řešení,



*kteřá však jsou předmětem dohody mezi zainteresovanými stranami“.*[28] Je zde tak komplexně vyřešena problematika povrchových vrstev včetně přípravy, způsobu nanášení, požadovaného počtu vrstev, zkoušení a inspekce. Některé firmy využívající nátěrový systém disponují vlastními předpisy či podnikovými normami, ty ovšem obecně vychází právě z ČSN EN ISO 12944:1998. Příklad nátěrové specifikace je na obrázku 3.4.

[illegible]

Obr. 3.4 Příklad nátěrové specifikace PKO (Protikoroziční ochrany) [29]

Před započítáním nanášení povrchových vrstev a nátěrů je třeba zajistit zakrytí ploch, kterých se aplikace netýká. Jde zejména o závity, dosedací, těsnící a jiné funkční plochy (v případě nátěrů). Dalším důležitým aspektem je také zvýraznění trvalých překážek šrafováním (hran, schodů, vystupujících okrajů) v souladu s ČSN ISO 3864-1:2012.

### 3.6 Montáž



Montáž jako taková má svůj vlastní technologický postup. Ten definuje jak sestavit jednotlivé díly a podsestavy tak, aby nedošlo k poškození okamžitě či během následného provozu. Stejně jako u demontáže pak vycházíme z postupů uvedených v příručce údržby, v případě potřeby doplněné o detailní dokumentaci v etapě přípravy. Častým postupem bývá sestavení hrubé, před povrchovou úpravou, a následné finální sestavení. V tomto směru klademe hlavně důraz na:



- ✓ správné utažení spojovacích prvků (předepsaný moment a postup utažení);
- ✓ ustavování
  - nesouososti - hřídelů, spojek, mimoběžných základů a ráků,
  - slícování - správné vymezení vůlí (uložení ložisek, čepů, těsnících ploch, elektrických součástí),
  - vyvažování rotujících strojů (ventilátory, bubny, turbínová soustrojí).

#### Ustavování

Ustavováním chápeme správné umístění vzájemně vazebných prvků, nejčastěji prostřednictvím spojek, řetězů, lan a řemenů. Správné ustavení zabezpečuje dosažení plánované životnosti. Pokud jsou prvky soustrojí špatně ustaveny, vykazují nadměrnou hlučnost, resp. vibrace, a vedou k nadměrnému namáhání jednotlivých skupin zařízení. Při ustavování jakýchkoliv dvou vazebných prvků je vždy jeden označen jako stacionární a druhý jako pohyblivý. Chyba souososti, resp. nesouosost jako taková, je pak vyjádřením polohy pohyblivého prvku vzhledem ke stacionárnímu[30]. V provozu je u rotačních strojů tolerance ustavení závislá zejména na provozních otáčkách, účinnosti, typu spojky, délce vloženého hřídele, charakteru jednotlivých částí strojů. Běžně akceptované hodnoty tolerancí ustavení pro úhlovou nesouosost a posunutí jsou v tabulce 3.1.

Tab. 3.1 Akceptovatelné hodnoty tolerancí ustavení [30]

Otáčky	<u>Úhlová nesouosost</u> mm/100 mm 		<u>Posunutí</u> mm'' 	
	Výborný	Vyhovující	Výborný	Vyhovující
min <sup>-1</sup>				
-1000	0.06	0.10	0.07	0.13
-2000	0.05	0.08	0.05	0.10
-3000	0.04	0.07	0.03	0.07
-4000	0.03	0.06	0.02	0.04

Otáčky	Úhlová nesouosost mm/100 mm 		Posunutí mm'' 	
	0.02	0.05	0.01	0.03
-5000	0.02	0.05	0.01	0.03
-6000	0.01	0.04	>0.01	>0.03

Ustavování rozdělujeme do tří fází[30] :

- ✓ přípravné – prohlídka řešeného soustrojí a volba ustavovací metody,
- ✓ hrubé ustavení – přibližné umístění jednotlivých prvků do požadované polohy,
- ✓ přesné ustavení – ustavení dle předepsaných hodnot pomocí ustavovacích systémů.

### Vyvažování rotujících prvků

Vyvažování je také využito během vlastní opravy (kapitola 3.4), kdy je po jejím provedení potřeba provést vyvážení z technologických důvodů (nepřesnosti při obrábění, odlévání, svařování)[30]. Zde se jedná o vyvažování z konstrukčních důvodů po montáži rotačních sestav z více dílů (např. motorových nebo ventilátorových rotorů). Nevyváženost můžeme rozdělit na:

- ✓ statickou – nevyváženost, při které je centrální hlavní osa setrvačnosti rovnoběžná s osou rotoru. Zároveň působí i bez rotace, tedy ve stavu, kdy se nevyvážek (hmota) díky gravitaci stabilizuje v nejnižším místě (tzv. kolébáním). Vyvažování probíhá v jedné rovině.,
- ✓ momentovou – nevyváženost, při které je centrální hlavní osa setrvačnosti rotoru různoběžná s osou rotoru, ale se společným bodem v těžišti rotoru,
- ✓ dynamickou - nevyváženost, při které je centrální hlavní osa setrvačnosti rotoru s osou rotoru mimoběžná. Fakticky jde o kombinaci statické a momentové nevyváženosti. Vyvažování provádíme v několika rovinách (nejčastěji dvou).

### 3.7 Provozní média a maziva

Následujícím krokem po montáži bývá obvykle plnění provozních médií a maziv. Je třeba brát na zřetel následující:

- ✓ veškeré spoje systému pro distribuci médií a maziv musí těsnit,
- ✓ před plněním médií, popř. mazivem, provádíme průplach systému pro odstranění zbytků z obrábění a jiných nečistot,
- ✓ média a maziva musí odpovídat specifikaci z mazacího plánu nebo příručky údržby,



- ✓ provádíme odvzdušnění – popř. odstátí (stabilizace hladiny) s následným doplněním.

Vždy plníme a poté kontrolujeme předepsané množství médií či maziv.

Plnění se provádí v poloze odpovídající následnému umístění v zařízení, pokud příručka údržby nestanoví jinak.

### **3.8 Zkoušení a ověřování funkce**

Je to další z komplexních kroků, které musí stroj absolvovat před tím, než je předán zákazníkovi. Ověřuje se tím faktické splnění technických požadavků, zajišťujících bezvadný stav, plánovanou životnost a bezpečnost provozu. V případě generální opravy posuzujeme shodu s původní charakteristikou a vlastnostmi stroje, které vyžadují dotčené právní předpisy a nařízení vlády.

#### **Zkoušení**

V návaznosti na dokumentaci z etapy opravy se jedná o zkoušky:

- ✓ jednotlivých dílů;
  - metodami nedestruktivní technické diagnostiky (zmíněnými v kapitole 1.1.3),
  - destruktivními zkouškami – statickými (tahová, tlaková, ohybová), dynamickými (rázem, cyklickým namáháním) a tvrdosti materiálu (Rockwell, Brinell, Wickers),
- ✓ podsestav a celého zařízení
  - vibrodiagnostikou – určení efektivní (RMS), popř. maximální (Peak) hodnoty vibrací (polohy, rychlosti, zrychlení) na rotačních soustavách. Posouzení a porovnání s maximálními přípustnými hodnotami.,
  - termodiagnostikou – části vykazující zvýšenou teplotu způsobenou třením (ložiska, válce, uložení, chybné mazání, špatné zapojení elektrických okruhů),
  - akustickou diagnostikou – zejména ultrazvukové emise z vadných hydraulických obvodů.

Výše zmíněné zkoušky se běžně vykonávají během celého procesu opravy v návaznosti na specifiky daného objektu. V souladu s vyhláškou a požadavky legislativy musí být každá taková zkouška provedena certifikovanou osobou (zkušebnou) a musí být zdokumentována.

#### **Ověřování funkce**

Před vydáním shody a předáním zákazníkovi provádíme v posledním kroku vlastní opravy ověřování funkce jednotlivých systémů a poté celého objektu v rámci komplexních zkoušek.

Sledujeme veškeré provozní parametry (funkční diagnostika), ovlivňující bezvadný stav objektu.

Zkoušky můžeme opět rozdělit na dvě skupiny:

- ✓ dílenské – zde ověřujeme zejména návrhové hodnoty zařízení;

- tlakové zkoušky – těsnost,
- funkci elektrické a elektronické výbavy – motory, koncové spínače,
- hydraulické a pneumatické systémy,
- celková funkce systému (bez kolizí),
- ✓ po instalaci – součinnost a vliv okolních zařízení
  - zkušební provoz – běh bez zátěže (cold commissioning) a se zátěží (hot commissioning),
  - zátěžové testy (Performance tests) – ověření funkčnosti a spolehlivosti na úrovni nejvyššího návrhového zatížení.

### 3.9 Konzervace, uskladnění

V případě, že se nejedná o generální opravu prováděnou přímo provozovatelem nebo v jeho areálu, kde je předpoklad okamžité instalace po jejím provedení, je potřeba definovat následující podmínky:

- ✓ konzervační a balící proceduru – jako prevenci degradace objektu,
- ✓ podmínky pro krátkodobé / dlouhodobé uskladnění.

#### Konzervace a balení

Jedná - li se o generální opravu objektu určeného jako náhradní díl, popř. pohotovostní zálohu v rámci výrobního závodu, je nutné na tento fakt objekt připravit. Konzervačním postupem je myšleno zejména:

- ✓ potažení nechráněných funkčních ploch (konce hřídelů, dosedací plochy) konzervačními přípravky, např. Tectil, Konkor,
- ✓ zakrytí gufer, těsnění a jiných nekovových částí ochrannou vrstvou plastického maziva,
- ✓ vyžití konzervačních a antikoročních olejů jako náhrada za provozní, např. Royal Purple VP Preseervative oil, Millers Preservation oil aj.,
- ✓ kompletní naplnění převodovky olejem (s rezervou pro teplotní roztažnost) [31],
- ✓ zamezení přístupu vzduchu do převodovek a motorů – zaslepení odvětrávacích systémů.

Volba ochrany objektu musí svými vlastnostmi odpovídat nárokům na způsob a délku skladování.

V souladu s příručkou údržby, obsahuje - li tuto informaci, je nutno definovat ochranné balení objektu opravy. Typ a druh se volí také jako kombinace transportního a skladovacího balení v případě, že bude exportován. Existují normy definující výše zmíněné parametry, např. ČSN 77 0114, ISPM 15. Možný způsob balení objektu pro zámořský transport a skladování je na obr. 3.5



Obr. 3.5 Balení pohotovostní zálohy pro dlouhodobé skladování [32]

### **Skladování**

Pod tímto pojmem se rozumí časová perioda mezi provedením opravy a uvedením objektu do provozu. Základním ukazatelem je definice prostředí, podle kterého volíme způsob ochrany (konzervace a balení). Nejdůležitější parametry jsou v tomto směru teplota prostředí, vzdušná vlhkost a prašnost. Nevhodný způsob a místo skladování je patrný na obr. 3.6.



Obr. 3.6 Nevhodné skladování pohotovostní zálohy [32]

## 4 Aplikace technologického postupu na řešený objekt

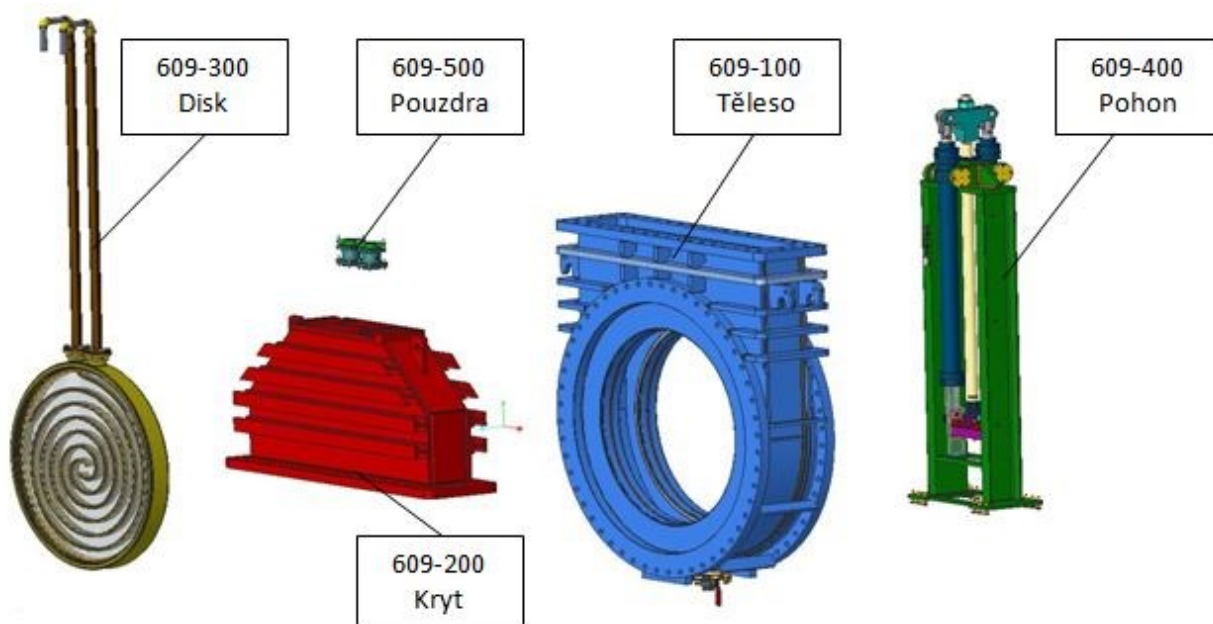
V souladu s výše definovaným teoretickým postupem budou jednotlivé body aplikovány na Horkovzdušné šoupátko ND1300 / PN10 vyspecifikované v kapitole 1.2. Přesné řazení výše zmíněných bodů nebude vždy striktně dodrženo, ale přizpůsobí se potřebám opravy.

### 4.1 Demontáž a hrubé čištění

- demontáž Horkovzdušného šoupátka (dále jen HBV) z prostoru ohřívače dle instrukcí v příručce údržby - dokument č. 609/09 – 005757 HBV Maintenance manual, kap. 5.1 Postup demontáže z ohřívače,
- doprava HBV na místo určené zákazníkem pro hrubé čištění a demontáž na hlavní podsestavy,
- hrubé čištění tlakovou vodou s odmašťovačem a čističem KARCHER RM 31 ASF,
- demontáž na podsestavy - dokument č. 609/09 – 005757 HBV Maintenance manual, kap. 5.2 – 5.10 (tabulka 4.1). Součásti sestav 609-600 a 609-700 *Příslušenství* budou v rámci GO vyměněny bez ohledu na stav.

Tab. 4.1 Rozdělení podsestav HBV [PWCZ, vlastní]

Číslo podsestavy	Název podsestavy	Hmotnost (kg)
609 - 100	Těleso s vyzdívkou	12900
609 - 200	Horní kryt s vyzdívkou	4060
609 - 300	Disk s vyzdívkou	2150
609 - 400	Rám pohonu s příslušenstvím	971
609 - 500	Těsnící pouzdra	45
609 - 600	<i>Příslušenství – mazání/chlazení</i>	32
609 - 700	<i>Příslušenství - koncové spínače</i>	15
<b>609 - 1000</b>	<b>Ventil HBV</b>	<b>20173</b>





## 4.2 Technologický postup opravy jednotlivých částí

### 4.2.1 Těleso s vyzdívkou



Obr. 4.1 Diagnostika stavu tělesa [33]

#### Čištění

- čištění parou,
- otryskání (pískování),
- odstranění (vybití) vyzdívek (po provedení kontroly), vymytí tělesa.

#### Stanovení rozsahu opravy / NDT

- Vizuální kontrola;
  - zjištěno vážné poškození betonové vyzdívky následkem tepla a eroze,
  - poškození těsnících ploch (strana ohřívače i větrovodu) po celém obvodu do hloubky max. 1,5 mm vzniklých abrazí,
  - silné koroze dosedacích ploch příruby těleso / kryt do hloubky 1 mm a hlavních přírub do hloubky 1 mm. Povrchová koroze chladících komor,
  - povrchová koroze na celém plášti tělesa (vnější strana),

- žádné další viditelné poškození tělesa nebylo zjištěno (trhliny, praskliny),
- NDT;
  - provedení PT dle ISO 23277 pro Level 2 a MPI dle DIN EN ISO 17638 (vyhodnocení dle DIN EN ISO 23278 Level 2) u všech svarů s výsledkem – **bez zjištěných závad**, viz obrázek 3.6,
- rozměrová kontrola;
  - UT měření tloušťky stěn (vnitřní strany tělesa a chladicí kanály) nevykazující úbytek mimo toleranci,
  - UT kontrola pláště na zjištění trhlin dle DIN EN 10 160 pro třídu S<sub>1</sub> - **bez závad**,
  - kontrola rovinnosti přírub,
- zkouška chladících kanálů
  - tlaková zkouška - nebyl zjištěn pokles tlaku během sledované periody, žádný viditelný únik zkušební kapaliny,
  - průtoková zkouška v normě.

#### Specifikace dílů k opravě / výměně

- díly k opravě;
  - svařenec tělesa,
- díly k výměně
  - kompletní výměna vyzdívek VITCAS grade 1700 včetně úchytů (kotev),
  - spodní výpustný kulový ventil – výměna celku ND.



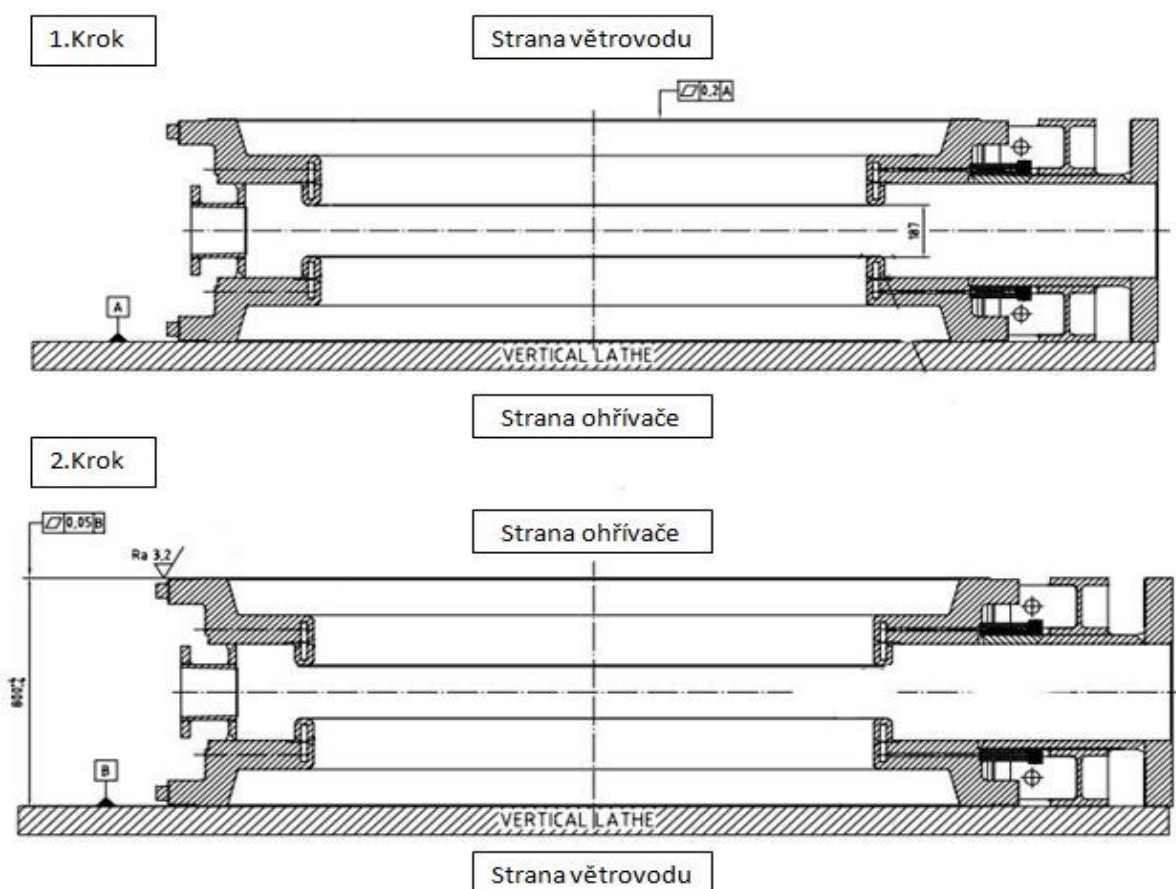
Obr. 4.2 NDT stavu tělesa [32]

#### Report

- jednání o rozsahu poškození za účasti zástupce zákazníka,
- kalkulace ekonomické výhodnosti,
- souhlas s opravou, zápis z jednání.

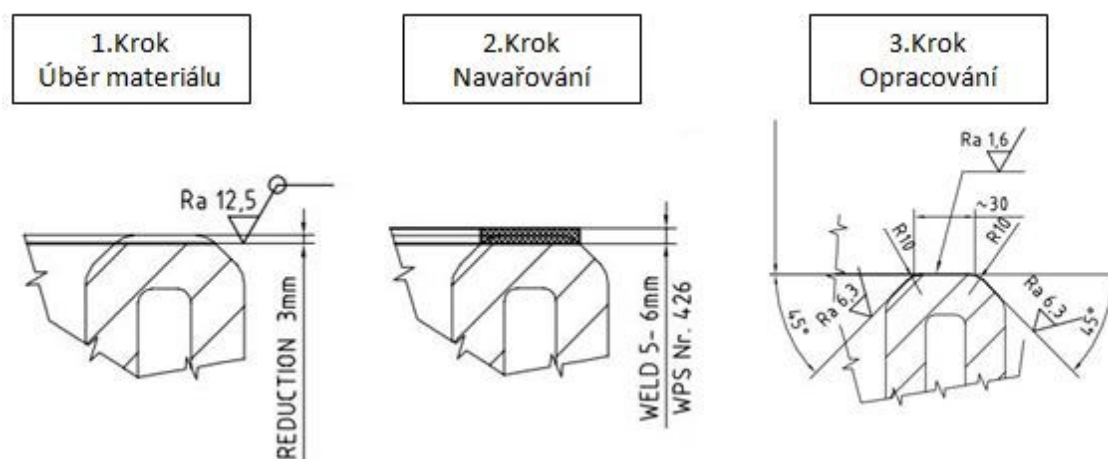
## Postup opravy tělesa – úprava povrchů

- soustružení hlavních přírub na opravný rozměr. Maximální dovolený úběr materiálu na každé straně **3 mm**, **Ra 3,2**. Detail postupu je znázorněn na obrázku 4.3,



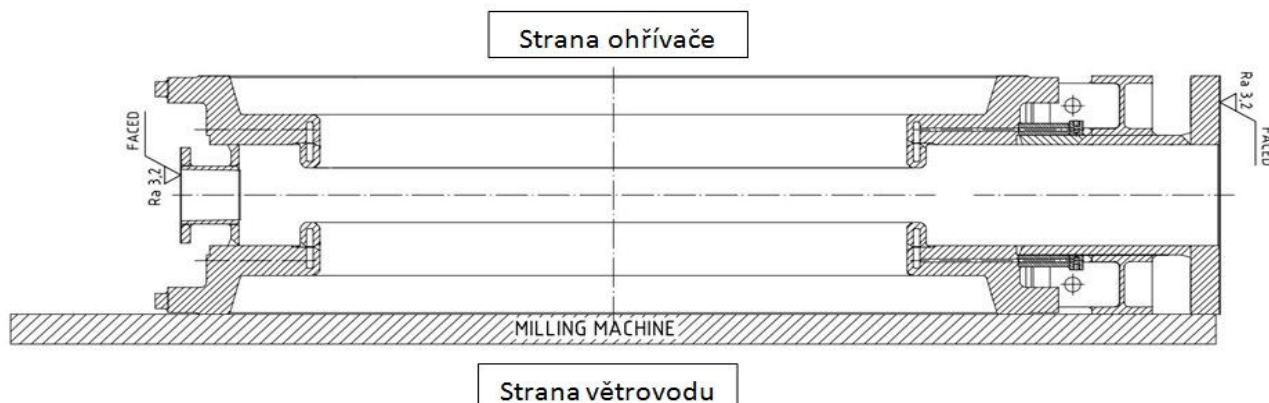
Obr. 4.3 Postup opracování hlavních přírub [PWCZ, vlastní]

- opracování těsnících ploch na požadovaný rozměr. Maximální dovolený úběr materiálu na každé straně **3 mm**. Detail postupu je znázorněn na obrázku 4.4,



Obr. 4.4 Postup opracování těsnících ploch [PWCZ, vlastní]

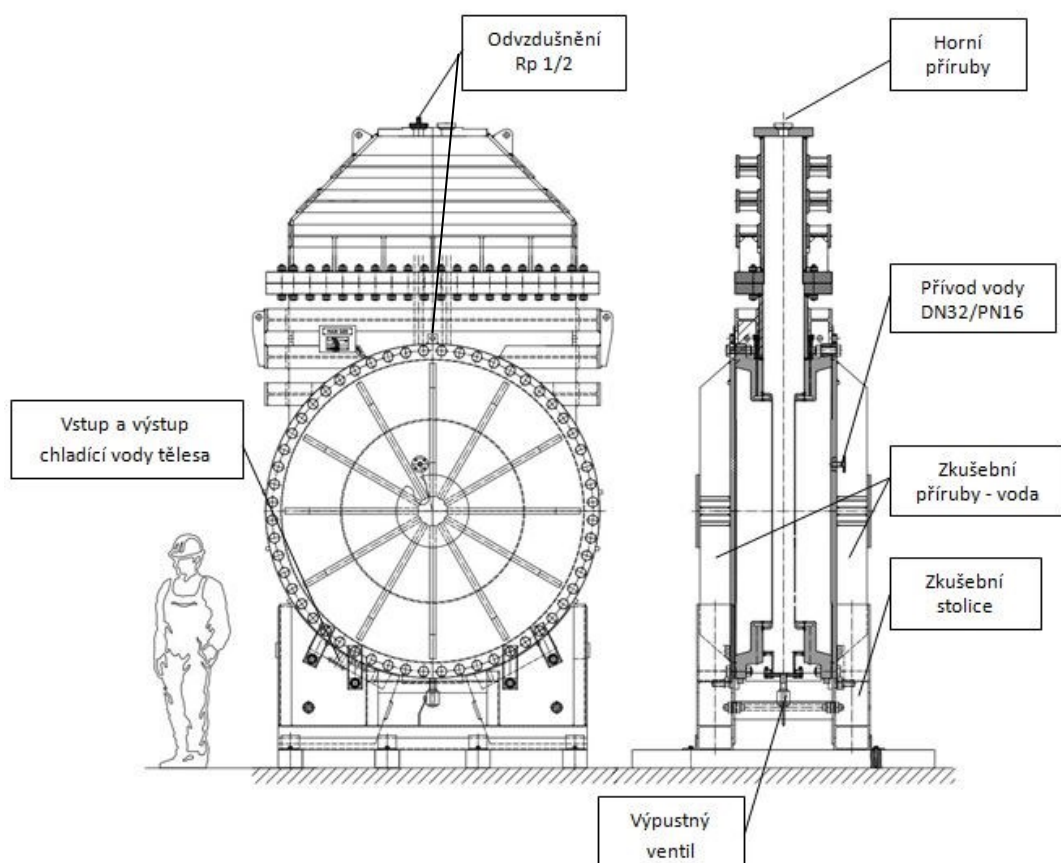
- zarovnání dosedací plochy těleso / horní kryt a spodní příruba servisního otvoru frézováním. Maximální dovolený úběr materiálu **3 mm, Ra 3,2**. Postup dle obr.4.5.



Obr. 4.5 Postup opracování vedlejších přírub [PWCZ, vlastní]

### Hydrostatická pevnostní zkouška sestavy ventilu

- provedení dle EN 12266-1:2012 pro referenční test P10, kap. A. 2. Testovací tlak  $p_t = 1,5 \cdot p_{\text{návrhový}}$ . Hydrostatická pevnostní zkouška ventilu a chladicích kanálů.,



Obr. 4.6 Hydrostatická pevnostní zkouška [PWCZ, vlastní]

- parametry pro zkoušení a vyhodnocení dle tabulky 4.2,



Tab. 4.2 Zkušební parametry [PWCZ, vlastní]

Testovaný objekt	Médium	Parametry dle EN 12266-1		Vyhodnocení dle EN 12266-1
		Zk. Tlak	Zk. Perioda	
Sestava ventilu	Voda	7 bar g	300 s	bez průsaku
Chladicí kanály	Voda	12 bar g	60 s	bez průsaku

- postup tlakové zkoušky – ventil bez vyzdívky sestavit dle schématu na obr.4.6 (těleso, horní kryt, příruba) a uložit na připravenou stolicí.

Hydrostatická pevnostní zkouška ventilu - otevřít odvzdušňovací ventil na horní přírubě

Rp ½ a přívodem DN32 napustit ventil vodou. Po naplnění zavřít ventil Rp ½ a natlakovat dle tabulky výše.

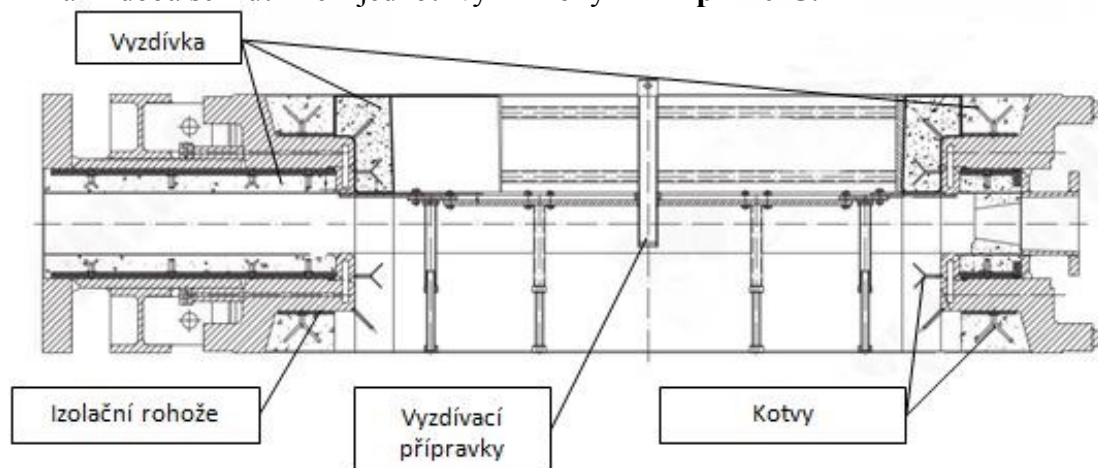
Chladicí kanály - otevřít odvzdušňovací ventil chladicího kanálu Rp ½ a přívodem DN40 napustit ventil vodou. Po odvzdušnění zavřít ventil Rp ½ a natlakovat dle tabulky výše.

Postup aplikovat na oba kanály.

Postupujte v souladu s EN 12266-1:2012 a předpisy pro bezpečnost práce na vyhrazených zařízeních.

### Postup opravy tělesa – vyzdívání

- navaření vyzdívacích kotev na vnitřní stranu tělesa – kotvy po navaření natřít asfaltem,
- vyložení izolačních rohoží,
- instalace vyzdívacích přípravků tělesa ventilu – přípravky natřít olejem a mezery vyplnit silikonem LUKOPREN N 1522,
- vyzdívání vysokoteplotním betonem VITCAS grade 1700
  - vyzdít jednu stranu tělesa ventilu dle obr. 4.7,
  - otočit těleso a postup opakovat,
  - po vyzdění obou stran dozdit bočnice,
  - minimální doba schnutí mezi jednotlivými kroky – **24h při 20°C.**



Obr. 4.7 Schéma vyzdívání tělesa [PWCZ, vlastní]

### Sušení vyzdívky na požadované parametry [32]

- **Metoda 1 - sušení s navyšováním teploty o 15°C/hod. (elektrická pec):**
  - těleso ventilu postupně zahřívat na teplotu 150°C rychlostí 15°C/hod.,
  - udržovat na teplotě 150 °C po dobu 24 hodin,
  - těleso ventilu postupně zahřívat na teplotu 300°C rychlostí 20°C/hod.,
  - udržovat na teplotě 300 °C po dobu 24 hodin,
  - chlazení tělesa na okolní teplotu rychlostí 40°C/hod.
- **Metoda 2 - sušení s navyšováním teploty o 50°C/hod. (jiná dostupná pec):**
  - těleso ventilu zahřívat na teplotu 50°C rychlostí 50°C/hod.,
  - udržovat na teplotě 50 °C po dobu 24 hodin,
  - těleso ventilu zahřívat na teplotu 100°C rychlostí 50°C/hod.,
  - udržovat na teplotě 100 °C po dobu 24 hodin,
  - těleso ventilu zahřívat na teplotu 150°C rychlostí 50°C/hod.,
  - udržovat na teplotě 150 °C po dobu 24 hodin,
  - těleso ventilu zahřívat na teplotu 300°C rychlostí 50°C/hod.,
  - udržovat na teplotě 300 °C po dobu 24 hodin,
  - chlazení tělesa na okolní teplotu rychlostí 50°C/hod., pokud je to možné.

### 4.2.2 Horní kryt s vyzdívkou



Obr. 4.8 Diagnostika stavu horního krytu [33]

## Čištění

- čištění parou,
- otryskání (pískování),
- odstranění (vybití) vyzdívek (po provedení kontroly) viz obr. 4.8, vymytí tělesa.

## Stanovení rozsahu opravy / NDT

- vizuální kontrola;
  - zjištěno částečné poškození betonové vyzdívky – příčné i podélné trhliny v celém průřezu,
  - silné koroze dosedací plochy příruby kryt / těleso do hloubky 1 mm a dosedací plochy rámu pohonu do hloubky 1 mm,
  - povrchová koroze na celém plášti tělesa (vnější strana),
  - žádné další viditelné poškození horního krytu nebylo zjištěno (trhliny, praskliny),
- NDT;
  - provedení PT dle ISO 23277 pro Level 2 a MPI dle DIN EN ISO 17638 (vyhodnocení dle DIN EN ISO 23278 Level 2) u všech svarů s výsledkem – **bez zjištěných závad**, viz obrázek 3.6,
- rozměrová kontrola
  - UT měření tloušťky stěn (vnitřní strany krytu) nevykazující úbytek mimo toleranci,
  - UT kontrola pláště na zjištění trhlín dle DIN EN 10 160 pro třídu S<sub>1</sub> - **bez závad**.

## Specifikace dílů k opravě / výměně

- díly k opravě;
  - svařenec horního krytu,
- díly k výměně
  - kompletní výměna vyzdívek VITCAS grade 1700 včetně úchyťů (kotev).

## Report

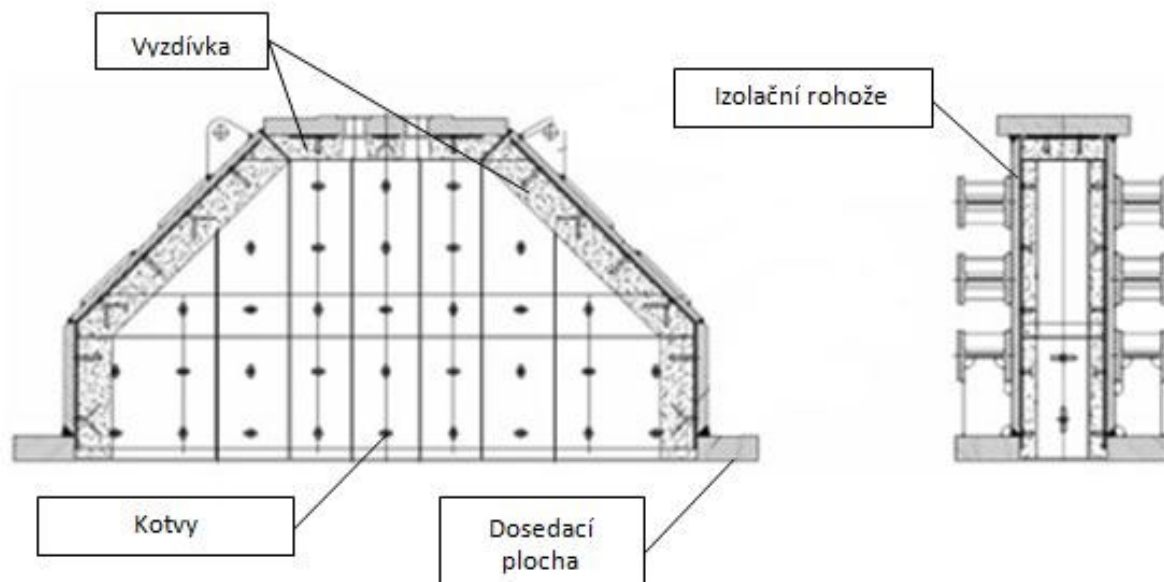
- jednání o rozsahu poškození za účasti zástupce zákazníka,
- kalkulace ekonomické výhodnosti,
- souhlas s opravou, zápis z jednání.

## Postup opravy tělesa – úprava povrchů

- zarovnání dosedací plochy horní kryt / těleso frézováním. Maximální dovolený úběr materiálu **3 mm, Ra 3,2**.

## Tlaková zkouška tělesa

- hydrostatická pevnostní zkouška dle EN 12266-1:2012 pro referenční test P10 provedena současně s tělesem ventilu (viz. bod 4.2.1).



Obr. 4.9a Schéma vyzdívání krytu [PWCZ, vlastní]

### Postup opravy tělesa – vyzdívání

- navaření vyzdívacích kotev na vnitřní stranu tělesa – kotvy po navaření natřít asfaltem;
- vyložení izolační rohoží;
- instalace vyzdívacích přípravků tělesa ventilu – přípravky natřít olejem a mezery vyplnit silikonem LUKOPREN N 1522;
- vyzdívání vysokoteplotním betonem VITCAS grade 1700



4.9b Vyzdívání krytu [PWCZ]

- vyzdít jednu stranu krytu dle obr. 4.9a a obr. 4.9b,
- otočit těleso a postup opakovat,
- po vyzdění obou stran dozdt bočnice,
- minimální doba schnutí mezi jednotlivými kroky – **24h při 20°C**.

### Sušení vyzdívky na požadované parametry

Sušení vyzdívky krytu stejným postupem jako u tělesa ventilu (viz. výše).

## 4.2.3 Disk s vyzdívkou

### Stanovení rozsahu opravy / NDT

- vizuální kontrola
  - zjištěno vážné poškození betonové vyzdívky – chybějící vyzdívka v dolní části disku,
  - neopravitelná deformace těsnících ploch a chladících kanálů viz obr. 4.10,



- poškození vodících tyčí – nedovolený průhyb z tepelné deformace,
- celá sestava disku je neopravitelná.



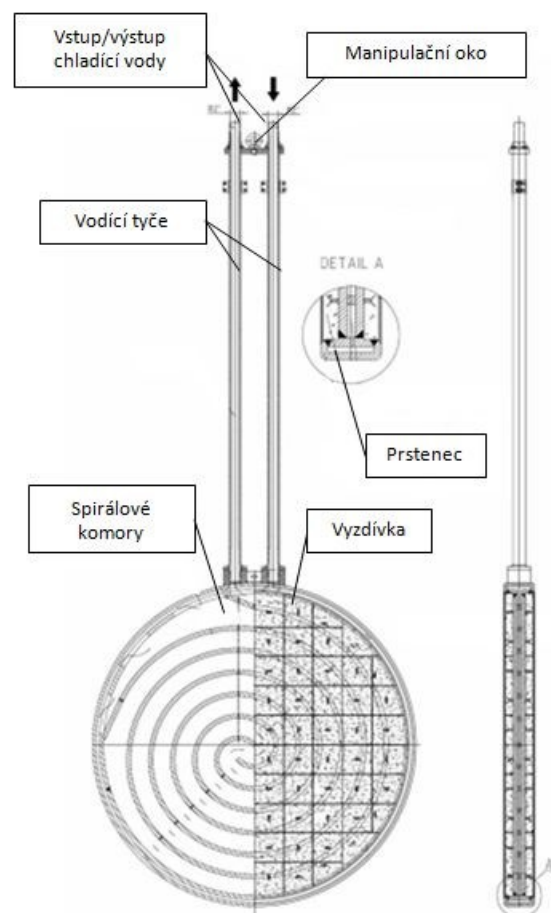
4.10 Rozsah poškození disku ventilu [32]

#### Specifikace dílů k opravě / výměně

- díly k opravě;
- žádné,
- díly k výměně
  - kompletní výměna sestavy disku dle výkresové dokumentace včetně vyzdívek.

#### Report

- jednání o rozsahu poškození za účasti zástupce zákazníka,
- souhlas s výměnou, zápis z jednání.



4.11 Sestava disku [PWCZ, vlastní]

## 4.2.4 Rám pohonu s příslušenstvím

### Demontáž

- demontáž na jednotlivé díly a příprava pro diagnostiku stavu.

### Čištění

- otryskání (pískování) rámu, kolíbký a unášeče.



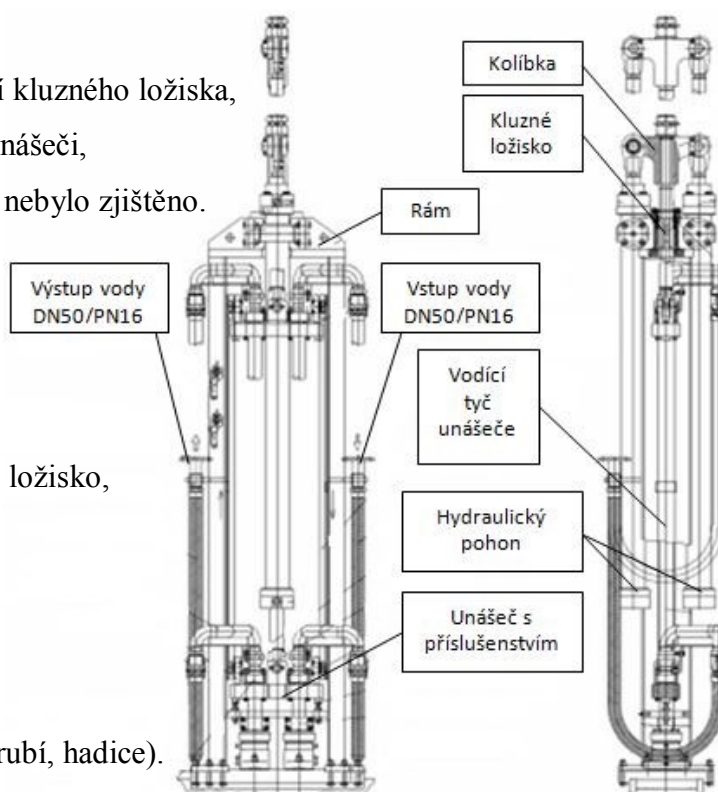
4.12 Rám pohonu [33]

### Stanovení rozsahu opravy / NDT

- vizuální kontrola
  - netěsnosti hydraulických válců a abrazivní poškození pístnic – únik hydraulického oleje,
  - povrchová koroze rámu,
  - koroze vodící tyče a následné vydření kluzného ložiska,
  - koroze spojek vodících tyčí disku v unášeči,
  - žádné další viditelné poškození rámu nebylo zjištěno.

### Specifikace dílů k opravě / výměně

- díly k opravě;
  - rám pohonu – svařenec,
  - unášeč vč. příslušenství,
  - vodící tyč unášeče s kolíbkou, kluzné ložisko,
- díly k výměně
  - hydraulické válce,
  - pojezdová kola unášeče,
  - ložiska úchyty hydraulických válců,
  - soustava chlazení vodou (spojky, potrubí, hadice).



4.13 Sestava rámu pohonu [PWCZ, vlastní]

## Report

- jednání o rozsahu poškození za účasti zástupce zákazníka,
- kalkulace ekonomické výhodnosti,
- souhlas s opravou, zápis z jednání.

## Postup opravy rámu pohonu

- ruční strojní vybroušení všech dosedacích ploch ocelovým kartáčem,
- výměna dílů určených k výměně včetně spojovacího materiálu dle dokumentu č. 609/09 – 005757 HBV Maintenance manual,
- ustavení a vymezení vůlí kolíčky a vodící tyče v kluzném ložisku dle výkresové dokumentace.

### 4.2.5 Těsnící pouzdra



4.14 Rozsah poškození těsnících pouzder [33]

## Stanovení rozsahu opravy / NDT

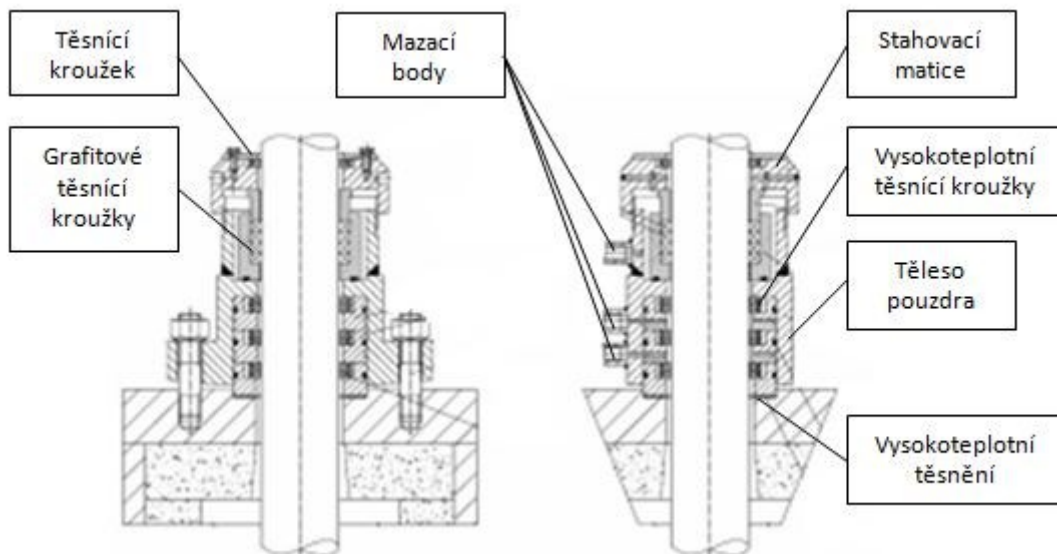
- vizuální kontrola
  - zjištěno neopravitelné poškození obou těsnících pouzder, viz obr. 4.13,
  - neopravitelné deformace těles (poškození závitů víka těsnící komory),
  - destrukce těsnících prvků v komoře vlivem nedodržení mazacího plánu – nedostatečné mazání.

## Specifikace dílů k opravě / výměně

- díly k opravě;
- žádné,



- díly k výměně
- kompletní výměna dvou kusu těsnících pouzder, viz obr. 4.14.



4.15 Sestava těsnícího pouzdra [PWCZ, vlastní]

## Report

- jednání o rozsahu poškození za účasti zástupce zákazníka,
- souhlas s opravou, zápis z jednání.

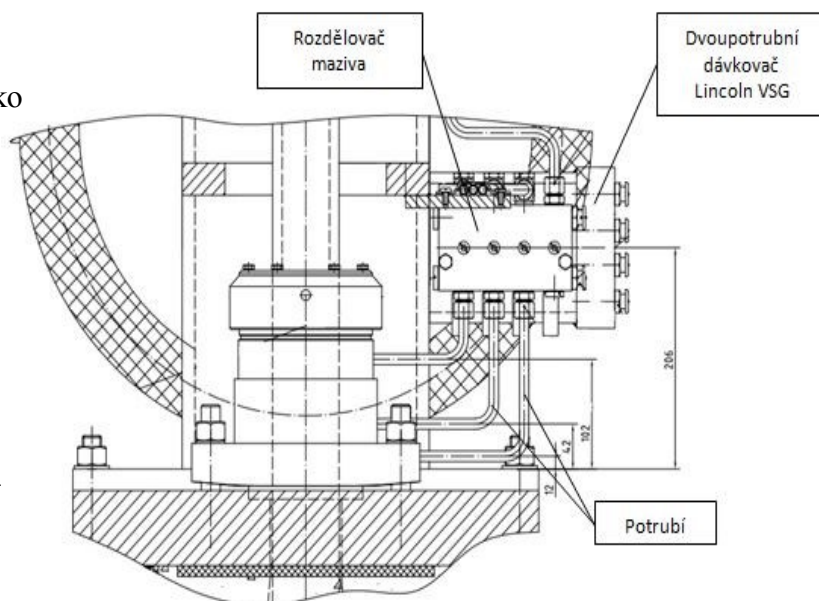
## 4.2.6 Mazání, chlazení, koncové spínače

### Demontáž

- demontáž dílů sestav kocových spínačů, mazání a chladícího okruhu ze sestavy horkovzdušného šoupátka.

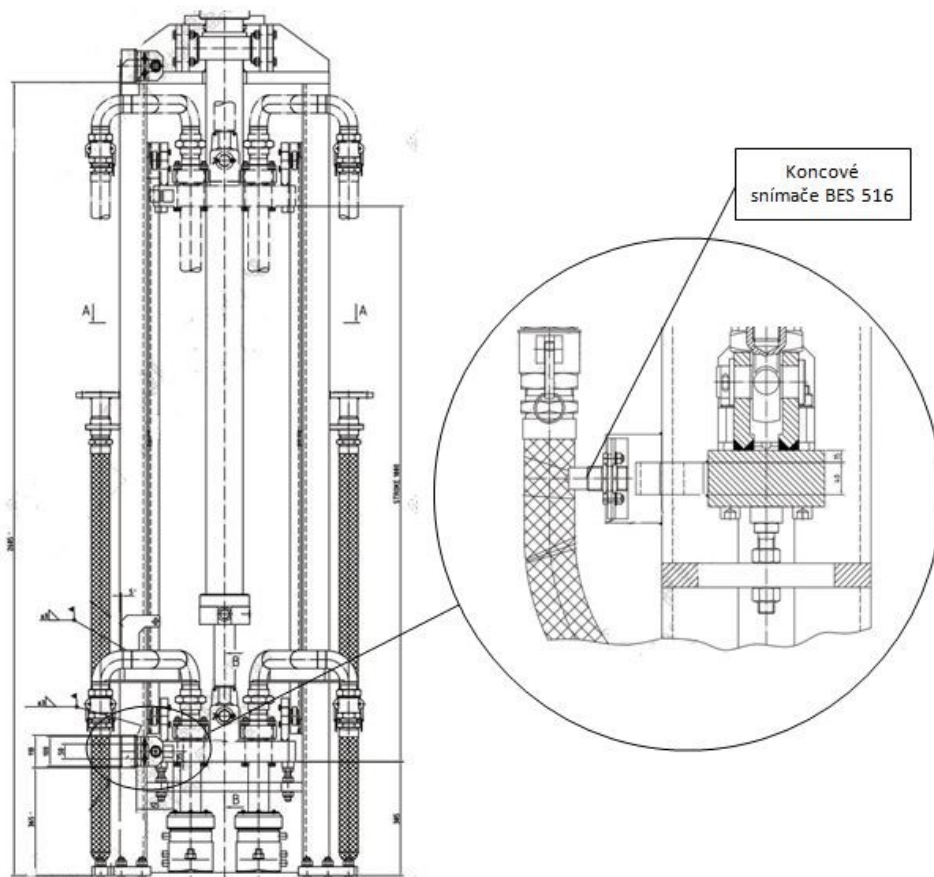
### Stanovení rozsahu opravy / NDT

- veškeré díly sestav budou jako příslušenství nahrazeny novými
  - sestava mazání viz obr 4.15,
  - sestava koncových spínačů viz obr. 4.16,
  - veškeré další prvky okruhu chladící vody uvedené v dokumentu č. 609/09 – 005757 HBV Maintenance manual.



4.16 Mazací soustava [PWCZ, vlastní]





4.17 Koncové snímače [PWCZ, vlastní]

### 4.3 Nátěrová specifikace

- úpravu povrchu a protikorozi ochranný nátěr opravovaných dílů provést dle tab. 4.3.

Tab. 4.3 Nátěrová specifikace [PWCZ, vlastní]

Provozní teplota (°C)			Příprava povrchu	Aplikace
min.	max.		Pískování Sa 2 1/2	Nástřik
-40	stabilně	špičkově		
	425	500		

První vrstva	Anorganický zinkový základ, vrstva 70 µm
Druhá vrstva	Bezsilikátový nátěr na bázi Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , vrstva 20 µm
Třetí vrstva	Bezsilikátový hliníkový vrchní nátěr, vrstva min. 15 µm
Odstín	RAL 9006

### 4.4 Montáž

- zpětnou montáž a ustavení provést dle dokumentu č. 609/09 – 005757 HBV Maintenance manual,
- veškerý spojovací materiál vyměnit za nový, bez ohledu na stav.

## 4.5 Média a maziva

- před provedením zkoušek naplnit mazací systém a hydraulický obvod viz tab. 4.4. Objem a způsob viz dokument č. 609/09 – 005757 HBV Maintenance manual.

Tab. 4.4 Specifikace náplní [PWCZ, vlastní]

### Hydraulický olej

Provozní teplota (°C)		
min.	max.	
-40	stabilně	špičkově
	30	80
Typ	Paramo HV46 - ISO VG 46, DIN 51524 - HVLP	

### Plastické mazivo

Provozní teplota (°C)		
min.	max.	
-40	stabilně	špičkově
	120	160
Typ	Stabutherm GH 462	

## 4.6 Funkční zkoušky

### Funkční zkouška – otevření / zavření ventilu

- zkoušku provést opakovaně min.5x dle tab. 4.5. Kontrola vůlí sedel disku a tělesa dle výkresové dokumentace.

Tab. 4.5 Zkouška otevření / zavření [PWCZ, vlastní]

Poloha	Čas	Přípustný tlak hydr. obvodu (max.)
Otevřeno -> zavřeno	15s	150 bar
Zavřeno -> otevřeno	15s	150 bar

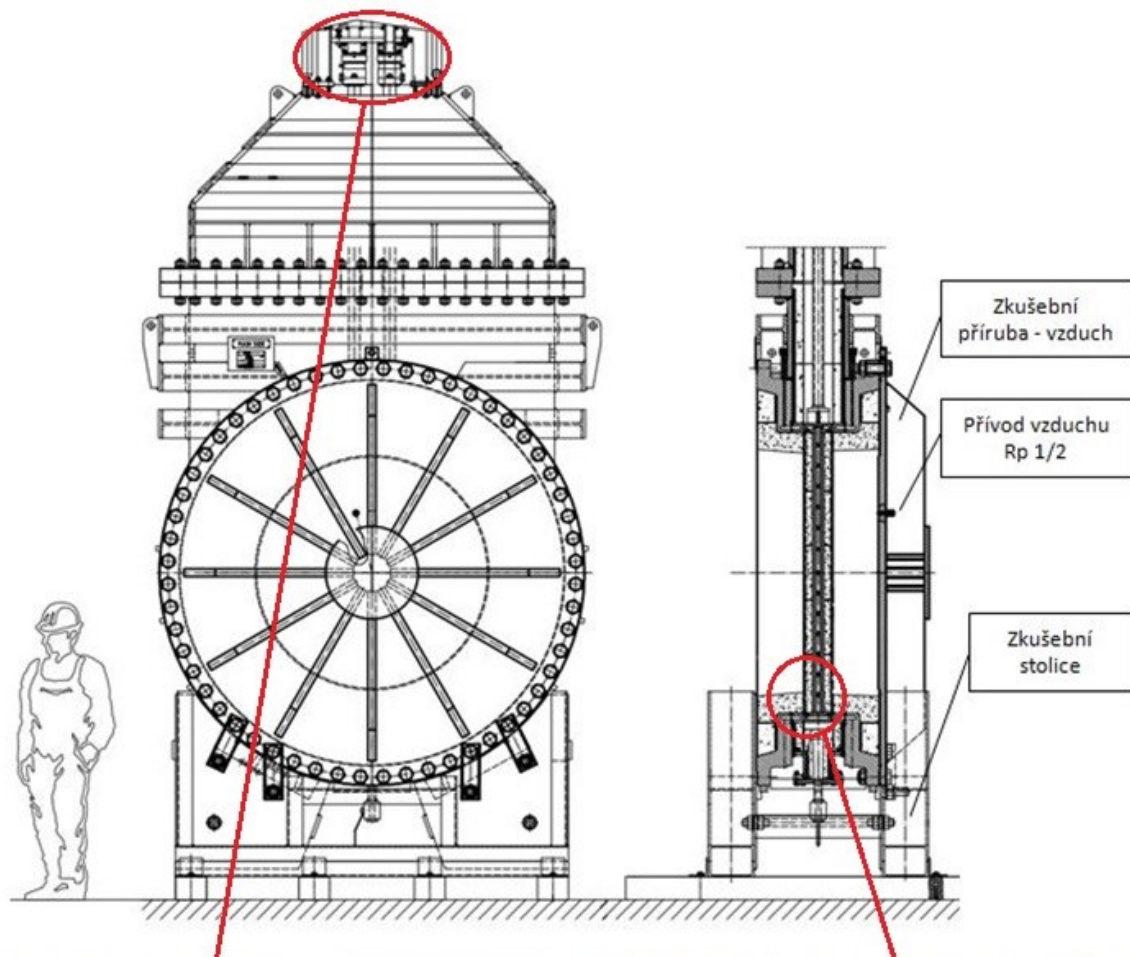
### Funkční zkouška – těsnost ventilu

- provedení dle EN 12266-1:2012 pro referenční test P 12 rate B kap. A. 4. Testovací tlak  $p_t = 1,5 \cdot p_{\text{návrhový}}$ . Komplexní test těsnosti ventilu viz. obr. 4.17;
- parametry pro zkoušení a vyhodnocení dle tabulky 4.6;

Tab. 4.6 Zkouška těsnosti [PWCZ, vlastní]

Test	Médium	Parametry dle EN 12266-1		Vyhodnocení dle EN 12266-1
		Zk. Tlak	Zk. Perioda	
P12 Rate B	Vzduch	7 bar g	180s	max. 420 mm <sup>3</sup> /s

- sledovaná místa;
  - těsnící pouzdra – „mýdlovou“ metodou sledovat průsak viz obr. 4.17,
  - těsnící plochy těloso / disk – „plamenem“ sledovat průsak viz obr. 4.17,
  - ostatní příruby – těleso / horní kryt, spodní příruba,
- test provádět ve zkušební jámě pro tlakové zkoušky vzduchem;



4.18 Zkouška těsnosti – sledovaná místa [33, PWCZ, vlastní]

- postup tlakové zkoušky – těleso ventilu – ustavení ventilu do zkušební stolice. Montáž příruby pro test vzduchem na stranu VP. Tlakování na zkušební tlak viz tab. 4.5. Provedení kontroly těsnosti a sledování tlakového spádu po zkušební periodu. Zápis do protokolu. Kompletní postup dle EN 12266-1:2012 pro referenční test P 12 rate B kap. A. 4.

#### **Funkční zkouška – otevření ventilu při tlaku na disk**

- zkoušku provést opakovaně min.2x dle tab. 4.7.

Tab. 4.7 Zkouška otevření při tlaku na disk [PWCZ, vlastní]

Poloha	Zkušební tlak (na disk)	Přípustný tlak hydr. obvodu (max.)
Zavřeno -> otevřeno	0,2 bar	150 bar

#### **Report**

- validace a převzetí ventilu zákazníkem, zápis o provedených zkouškách a shodě.

### **4.7 Balení a skladování**

- příprava ventilu k dlouhodobému skladování jako pohotovostní záloha viz obr. 4.18
  - ošetření funkčních ploch (sedla disku a tělesa, vodící tyč unášče, vodící tyče disku) přípravkem Konkor 101,
  - mazací místa naplnit mazivem Stabutherm GH 462,
  - laminace do nepropustného (hermetického) obalu vč. silikátové směsi proti vlhkosti,
  - uložení v samonosném dřevěném obalu.



4.19 Balení [32]

## Závěr

Cílem diplomové práce bylo poskytnout ucelené informace o problematice oprav, zejména pak opravy generální. Proto bylo v úvodních kapitolách přistoupeno k rešerši, kdy je dané téma dáno do širších souvislostí v rámci údržby strojních zařízení. Výstupem je poté dílčí závěr metodiky stanovení termínu opravy, resp. generální opravy. Ke správnému a efektivnímu provedení je potřeba zabezpečit materiálový tok, potřebné lidské zdroje a nebytnou dokumentaci, což je také rozebráno v teoretické části textu. Ideový a technický návrh definuje jednotlivé kroky, které zařízení během procesu opravy absolvuje, přičemž důraz je kladen zejména na ty části, které nejsou jasně definovány v jiné dokumentaci, např. Příručce údržby. V poslední části diplomové práce jsou výše zmíněné kroky technologického postupu aplikovány na praktický příklad. Tím je Horkovzdušné šoupátko ohřívače větru, které je jako nejvíce namáhaná armatura často vystaven vlivům vysoké teploty a rychlosti média. Práce vznikla zejména z důvodu optimalizace procesu opravy, kdy byl dán firmou Paul Wurth a.s. požadavek na ucelený postup, který bude z širšího hlediska aplikovatelný na další armatury v provozu vysoké pece. Brán byl zejména zřetel na rozměry a hmotnost ventilu a jeho jednotlivých částí, a v neposlední řadě také materiálovou degradaci vyzdívky a těsnících ploch (sedel) vlivem těžkých provozních podmínek. V tomto případě je navíc jeho degradace posílena faktem, že se jedná o zařízení provozované v náročných klimatických podmínkách – horko, vlhkost, kde je zároveň poměrně značně zanedbávána pravidelná údržba, předepsaná v příručce údržby. Základem celého postupu je vždy správná diagnostika aktuálního stavu, vhodný návrh postupu opravy a v neposlední řadě také ekonomický aspekt výhodnosti. Všechny tyto kroky musí být prováděny v součinnosti se zákazníkem. V úvahu musí být brán fakt, že součásti, které jsou zdánlivě (vizuálně) v pořádku a opravu nevyžadují, musí pracovat spolehlivě do následující periody. Proto je třeba posoudit možné selhání a rizikové části preventivně vyměnit. Na tuto skutečnost se vážou průběžné i koncové funkční a zátěžové zkoušky jednotlivých dílů i celého zařízení, které ověřují správnost jednotlivých kroků a potvrzují následný bezvadný provoz. V textu je zmíněna i protikoroze ochrana zařízení, kterou se zabývá norma ČSN EN ISO 12944:1998, která je klíčovým předpokladem splnění plánované životnosti. Diplomová práce byla vytvořena v součinnosti s kolegy ze servisního oddělení firmy Paul Wurth a.s. a měla by v budoucnu sloužit jako vodítko – rámec, podle kterého se budou generální opravy armatur provádět.



## Seznam literatury

- [1] ČSN EN 13306. *Údržba – Terminologie údržby*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [2] LÍBAL V. a kol., *Organizace a řízení výroby*. Praha: STNL, 1980, Sedmé vydání, 559 s., ISBN 80-03-00050-5.
- [3] SOUKUPOVÁ V., STRACHOTOVÁ D., *Podniková ekonomika*. Praha: VŠCHT, 2005, První vydání, 122 s., ISBN 80-7080-575-7.
- [4] HELEBRANT F., *Technická diagnostika a spolehlivost – IV. Provoz a údržba strojů*. Ostrava: VŠB – TUO, 2007, První vydání, 130 s., ISBN 978-80-248-1690-6.
- [5] Systémy údržby a příklady. *Produktivita.cz*. [online]. Leden 2008 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://www.produktivita.cz/cs/ke-stazeni/systemy-udrzby-a-priklady.html>
- [6] Rekonstrukce, modernizace, nebo generální oprava?. *MM spektrum*. [online]. Červenec 2002 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rekonstrukce-modernizace-nebo-generalni-oprava.html>
- [7] STRNISKO J., Stanovení počtu periodických oprav a neplánovaných oprav vzniklých vlivem násilného poškození na hnacích kolejových vozidlech pro nově navrhovanou opravnu. *Perners's contacts*. [online]. Duben 2010 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: [http://pernerscontacts.upce.cz/PC\\_172010.pdf](http://pernerscontacts.upce.cz/PC_172010.pdf)
- [8] KUDĚLKA V., OPLETAL J., BALEJ Z., Bezpečnost, trvanlivost, životnost, spolehlivost a kvalita výrobku. *Tlakinfo.cz*. [online]. Duben 2017 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=2217>
- [9] Load sequence effect on fatigue analysis. *Optimec consultants*. [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <http://optimec.ca/news/load-sequence-effect-on-fatigue-analysis/>
- [10] MAZAL P., Metody nedestruktivního zkoušení. *Techmagazín*. [online]. Srpen 2011 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: [http://www.techmagazin.cz/ke\\_stazeni/ndt/ndt1.pdf](http://www.techmagazin.cz/ke_stazeni/ndt/ndt1.pdf)
- [11] Používané metody. *Gamalux defektoskopie*. [online]. [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <http://www.gamalux.cz/pouzivane-metody/>

- [12] SKUBANIČ V., Prediktivní údržba. *SystemOnLine*. [online]. Říjen 2017 [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/clanky/prediktivni-udrzba.htm>
  
- [13] NOVOTNÝ R., Weibullovo rozdělení při analýzách bezporuchovosti. *Elektrorevue*. [online]. Březen 2002 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/02017/index.html>
  
- [14] LORENC M., Provozeroschopnost výrobního zařízení. *3MA112*. [online]. 2007-2013 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://lorenc.info/3MA112/provozoschopnost-vyrobniho-zarizeni.htm>
  
- [15] Hot – blast stove. *Encyklopedia Britannica*. [online]. 2001- [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/hot-blast-stove>
  
- [16] Pig - Iron production. *P.G. Steel company*. [online]. 2007- [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/pgsteelcompany/blastfurnace>
  
- [17] Refractory & Engineering - Blast furnace technologies, *Paul Wurth S.A.*, Produktový katalog. Luxembourg: 2011- 2015.
  
- [18] ZETTERHOLM J., SUNDELIN B., JI X., Model development of a Blast Furnace Stove. *Energy procedia*. [online]. 2015 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-view-of-a-hot-blast-stove-system\\_fig1\\_282831730](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-view-of-a-hot-blast-stove-system_fig1_282831730)
  
- [19] Stove and Blast Furnace Valve Technology - Blast furnace technologies, *Paul Wurth S.A.*, Produktový katalog. Luxembourg: 2009- 2017.
  
- [20] Smart maintenance, *Paul Wurth S.A.*, Interní prezentace. Luxembourg: 2018.
  
- [21] Ganttův diagram. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Gantt%C5%AFv\\_diagram](https://cs.wikipedia.org/wiki/Gantt%C5%AFv_diagram)
  
- [22] Microsoft project. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Project](https://cs.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Project)
  
- [23] ESCH V.H., Six steps to successful repair of GT components. *CCJ ONSite*. [online]. Říjen 2014 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.ccj-online.com/six-steps-to-successful-repair-of-gt-components-2014/>

- [24] GROHMANN J., Vrtulníkový guru LOM PRAHA s.p. *Armádní noviny*. [online]. Červenec 2014 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.armadninoviny.cz/reportaz-vrtulnikovy-guru-lom-praha-s-p-.html>
- [25] Warren thick stock pump repairs. *Pump Services Inc.* [online]. 2004 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.pumpservicesinc.com/Pages/warrenrepair.html>
- [26] POŠTA J., ČERNOVOL M., HAVLÍČEK J., *Renovace strojních součástí*, Praha: SVÚM, 1998, První vydání, 160 s., ISBN 80-902015-6-3.
- [27] Povlakování. *LISS*. [online]. 1997- [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.liss.cz/nabidka.php?kategorie=1>
- [28] ČSN EN ISO 12944-1. *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. Praha: ÚNMZ, 1998.
- [29] PARTL V., ŘÍHA P., Technické kvalitativní podmínky staveb ŘVC ČR. *Ředitelství vodních cest ČR*. [online]. Prosinec 2013 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: [http://www.rvccr.cz/public/files/userfiles/Technicko%20kvalitativn%C3%AD%20podm%C3%ADnky/TKP-Protikorozn%C3%AD\\_ochrana\\_ocelov%C3%BDch\\_konstruk%C3%AD.pdf](http://www.rvccr.cz/public/files/userfiles/Technicko%20kvalitativn%C3%AD%20podm%C3%ADnky/TKP-Protikorozn%C3%AD_ochrana_ocelov%C3%BDch_konstruk%C3%AD.pdf)
- [30] HELEBRANT F., HRABEC L., MAZALOVÁ J., *Technická diagnostika a spolehlivost – III. - Ustavování strojů*. Ostrava: VŠB – TUO, 2006, První vydání, 91 s., ISBN 978-80-248-1449-0.
- [31] How to protect and preserve spare gearboxes. *Machinery lubrication*. [online]. 2017- [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <http://www.machinerylubrication.com/Read/23789/protect-spare-gearboxes>
- [32] Fotodokumentace k projektu PWCZ 1378/15 a 1489/16 – Paul Wurth a.s.
- [33] Dokumentace k projektu PWCZ 609/09 – Paul Wurth a.s.



## Seznam obrázků

Obr. 1.1	Rozdělení údržby .....	12
Obr. 1.2	Schéma oprav .....	15
Obr. 1.3	Simulace únavy pomocí MKP .....	17
Obr. 1.4	Kombinace PT a MPI metody při zkoušení stavu dílů .....	18
Obr. 1.5	Ultrazvuková zkouška vad .....	19
Obr. 1.6	Schéma vysoké pece s popisem hlavních částí a řez ohřívačem .....	22
Obr. 1.7	Schéma pracovních cyklů ohřívače .....	23
Obr. 1.8	Schéma vstupů a výstupů ohřívače .....	23
Obr. 1.9	Schéma hlavních částí horkovzdušného šoupátka .....	24
Obr. 2.1	Zjišťování stavu vyzdívky termodiagnostikou.....	27
Obr. 3.1	Blokové schéma postupu opravy.....	33
Obr. 3.2	Demontovaný kompresor turbínového motoru vrtulníku .....	35
Obr. 3.3	Vážné poškození ložisek a hřídelí .....	36
Obr. 3.4	Příklad nátěrové specifikace PKO (Protikoroze ochrany) .....	39
Obr. 3.5	Balení pohotovostní zálohy pro dlouhodobé skladování .....	44
Obr. 3.6	Nevhodné skladování pohotovostní zálohy .....	44
Obr. 4.1	Diagnostika stavu tělesa .....	46
Obr. 4.2	NDT stavu tělesa .....	47
Obr. 4.3	Postup opracování hlavních přírub .....	48
Obr. 4.4	Postup opracování těsnících ploch .....	48
Obr. 4.5	Postup opracování vedlejších přírub .....	49
Obr. 4.6	Hydrostatická pevnostní zkouška.....	49
Obr. 4.7	Schéma vyzdívání tělesa .....	50
Obr. 4.8	Diagnostika stavu horního krytu .....	51
Obr. 4.9a	Schéma vyzdívání krytu .....	53
Obr. 4.9b	Vyzdívání krytu .....	53

Obr. 4.10	Rozsah poškození disku ventilu .....	54
Obr. 4.11	Sestava disku .....	54
Obr. 4.12	Rám pohonu .....	55
Obr. 4.13	Sestava rámu pohonu .....	55
Obr. 4.14	Rozsah poškození těsnících pouzder .....	56
Obr. 4.15	Sestava těsnícího pouzdra .....	57
Obr. 4.16	Mazací soustava .....	57
Obr. 4.17	Koncové snímače .....	58
Obr. 4.18	Zkouška těsnosti – sledovaná místa .....	60
Obr. 4.19	Balení .....	61

## Seznam tabulek

Tab. 1.1	Rozhodovací tabulka .....	20
Tab. 1.2	Návrhové a provozní parametry.....	25
Tab. 2.1	Ganttův diagram .....	31
Tab. 3.1	Akceptovatelné hodnoty tolerancí ustavení .....	40
Tab. 4.1	Rozdělení podsestav HBV.....	45
Tab. 4.2	Zkušební parametry .....	50
Tab. 4.3	Nátěrová specifikace .....	58
Tab. 4.4	Specifikace náplní .....	59
Tab. 4.5	Zkouška otevření / zavření.....	59
Tab. 4.6	Zkouška těsnosti .....	59
Tab. 4.7	Zkouška otevření při tlaku na disk .....	61